



ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК

Научно-информационный журнал

2012 г. № 6(89)

**Координационный  
совет журнала**

**Главный редактор**  
А.Н. ОБЛИВИН

**Зам. главного редактора**  
В.Д. НИКИШОВ

**Члены совета**  
В.В. АМАЛИЦКИЙ  
М.А. БЫКОВСКИЙ  
В.И. ЗАПРУДНОВ  
Н.И. КОЖУХОВ  
А.В. КОРОЛЬКОВ  
В.А. ЛИПАТКИН  
Е.И. МАЙОРОВА  
М.Д. МЕРЗЛЕНКО  
А.К. РЕДЬКИН  
А.А. САВИЦКИЙ  
Ю.П. СЕМЕНОВ  
Д.В. ТУЛУЗАКОВ  
В.А. ФРОЛОВА  
В.С. ШАЛАЕВ

**Ответственный секретарь**  
Е.А. РАСЕВА

**Редактор**  
В.Б. ИВЛИЕВА  
**Набор и верстка**  
М.А. ЗВЕРЕВ  
**Электронная версия**  
Н.К. ЗВЕРЕВА

Журнал издается при поддержке  
Научно-образовательной  
ассоциации лесного комплекса

Журнал зарегистрирован Министерством  
РФ по делам печати, телерадиовещания и средств  
массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации  
ПИ № 77-12923 от 17.06.2002

Журнал входит в перечень утвержденных  
ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей  
ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть  
перепечатаны и воспроизведены полностью или  
частично с письменного разрешения издательства.

Редакция журнала принимает к рассмотрению не публиковавшиеся ранее статьи объемом 5–10 страниц, включая рисунки и таблицы. Требования к представлению материалов приведены в конце номера.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются; статьи, отклоненные редакцией, не возвращаются.

© ГОУ ВПО МГУЛ, 2012

Подписано в печать 28.11.2012.  
Тираж 500 экз.  
Заказ № 593  
Объем 27,5 п. л.

Издательство Московского государственного университета леса  
141005, Мытищи-5, Московская обл.,  
1-я Институтская, 1, МГУЛ. (498)687-41-33  
les-vest@mgul.ac.ru

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Брюквина О.Ю., Лобачев И.В., Малашин А.А. Задача о размотке нити с грузом</b> .....	4
<b>Орлов А.Л., Лобачев В.И. Основные проблемы управления тросовой системой в космосе</b> .....	9
<b>Бурков В.Д., Щукин Д.Г., Степанов И.М. Оптические методы контроля утечек газовых выбросов в задачах мониторинга атмосферы</b> .....	14
<b>Березников А.Ю., Дмитриев В.П. Методология испытаний аппаратуры ЛАЛС</b> .....	18
<b>Бабин А.В., Козлов И.П. Проектирование системы стабилизации сложного объекта с учетом особенностей его динамических характеристик</b> .....	20
<b>Асланиди М.Ю., Дмитриев В.П. Оптоэлектронные интегральные коммутаторы</b> .....	26
<b>Бедро Н.А., Есаков В.А., Ивлева М.В., Комарова М.Н., Гамкрелидзе С.А. Алгоритмическая компенсация погрешности микромеханических акселерометров и наклонометров из-за нестабильности напряжения питания</b> .....	28
<b>Богданов А.А., Дмитриев В.П. Основа программно-аппаратной реализации оптоэлектронных атмосферных каналов</b> .....	32
<b>Полещук О.М., Комаров Е.Г. Оценка и мониторинг качества кадрового состава высших учебных заведений</b> .....	34
<b>Полещук О.М. Построение групповой экспертной оценки качественных показателей сложных технических систем</b> .....	37
<b>Домрачев В.Г., Скрипник А.А. Влияние температуры на оценку массы в системах определения параметров жидкости в резервуарах</b> .....	41
<b>Дубровский Н.А., Козлов И.П. Прием и обработка радионавигационных дифференциальных поправок, поступающих в режиме реального времени</b> .....	45
<b>Дубровский Н.А., Козлов И.П. Реализация конечного автомата для обработки радионавигационных дифференциальных поправок, поступающих в режиме реального времени</b> .....	47
<b>Жерновенков В.А., Тарасенко П.А., Пушкин Н.М. Измерение СВЧ параметров модулей АФАР и обработка результатов на автоматизированном стенде</b> .....	49
<b>Завитаев Э.В., Русаков О.В., Юшканов А.А., Харченко В.Н. Отклонение от закона Видемана–Франца в субмикронной цилиндрической проволоке</b> .....	53
<b>Катулев А.Н., Кузнецов А.Ю. Теоремы устойчивости нелинейных автономных динамических систем</b> .....	59
<b>Лесин Д.Н., Лесин Н.И. Достоверность контроля работоспособности фар методом неподвижного зонда</b> .....	63
<b>Лесин Д.Н., Лесин Н.И. Назначение допусков на погрешности измерений параметров поля в ближней зоне ФАР</b> .....	65
<b>Ретинский В.С., Ретинская И.В., Гридина Е.Г. Численный метод расчета сложных систем с распределенными параметрами для задач моделирования и управления динамическими процессами</b> .....	67
<b>Шустов И.Е., Гамкрелидзе С.А., Тарасенко П.А. Анализ погрешностей двухконтурной системы прецизионного измерителя угловой скорости</b> .....	70
<b>Лесин Н.И., Лесин Д.Н., Степанов И.М. Ошибки при оценке технического состояния сложных систем</b> .....	75
<b>Домрачев В.Г., Котов Ю.Т., Подрезов М.В., Степанов И.М. Методологические основы использования программных пакетов Electronics Workbench и Multisim при исследовании электронных схем</b> .....	77
<b>Гридина Е.Г., Домрачев В.Г., Гавриков В.А., Котов Ю.Т. Алгоритм обработки информации для микропроцессоров и микроконтроллеров</b> .....	82
<b>Домрачев В.Г., Гавриков В.А., Котов Ю.Т. Непараметрический алгоритм распознавания образов для элементов и устройств систем управления</b> .....	84

<b>Бедро Н.А., Есаков В.А., Ивлева М.В., Комарова М.Н., Гамкрелидзе С.А.</b> Компенсация влияния температуры на выходные показания микромеханического акселерометра в составе инклинометра .....	89
<b>Жердева Е.В., Царев О.В.</b> Метод контроля технического состояния вторичных источников питания в динамическом режиме .....	92
<b>Афанасьев А.С., Князев Р.И., Мейко Б.С., Суслов В.М.</b> Высокоточная оперативная оценка надежности функционально сложных электротехнических изделий .....	96
<b>Афанасьев А.С., Суслов В.М., Болдырев М.А.</b> Критерии оптимизации номенклатуры химических источников тока для систем электропитания комплектов индивидуальной экипировки военнослужащих .....	99
<b>Белов О.И., Болдырев М.А., Воронцов П.С., Нижниковский Е.А.</b> Особенности обеспечения безопасной эксплуатации литиевых химических источников тока .....	103
<b>Серегин Н.Г., Сорокин С.В.</b> Внедрение волоконно-оптических датчиков температуры в систему тарировки и испытаний устройств измерительной техники .....	107
<b>Сапожников В.Б., Рыжов Е.В., Корольков А.В.</b> Об одном из технических решений по снижению себестоимости добычи нефти .....	109
<b>Лемесев К.А.</b> Модели и методы извлечения структурированной информации из сети Интернет .....	113
<b>Ветошкин А.М.</b> Фробениусовы эндоморфизмы множества проекторов .....	116
<b>Хайбулина К.В.</b> Использование информационных коммуникационных технологий при изучении биологии .....	122
<b>Воронцов В.Л., Самойлов П.А.</b> Основы концепции построения и развития бортовых радиотелеметрических систем и программно-технических средств телеметрического комплекса космодрома .....	128
<b>Бедро Н.А., Воронин И.В., Комарова М.Н.</b> Нанозлектромеханические измерительные преобразователи с автоэлектронной эмиссией .....	135
<b>Солдатенков В.А., Грузевич Ю.К., Левкович А.Д., Литвак Э.С.</b> Устройство наблюдения для определения географических координат удаленного объекта .....	139
<b>Литвак Э.С., Попов А.Ю., Левкович А.Д.</b> Модуль обработки информации с навигационной системы и лазерного дальномера .....	145
<b>Грушин М.А.</b> Распознавание крон деревьев на снимках высокого разрешения .....	149
<b>Троицкий А.А.</b> Стартовый набор для изучения микросхемы Attiny 2313 .....	154
<b>Бурков В.Д., Орлов А.Е., Шалаев В.С.</b> Система управления перебазируемым комплексом телеметрических измерений с использованием системы ГЛОНАСС и волоконно-оптических гироскопов .....	160
<b>Саврухин А.П.</b> Вектор Пойнтинга и проводимость металлов .....	166
<b>Запруднов В.И., Санаев В.Г.</b> Макроскопические свойства древесно-цементных композитов .....	167
<b>Лозовецкий В.В., Шадрин А.А., Лебедев В.В., Статкевич И.В., Маркова Ю.А.</b> Получение электрической и тепловой энергии из древесных отходов лесного комплекса и других растительных биоресурсов .....	172
<b>Ширнин Ю.А., Зверев И.В., Моржанов А.Ю.</b> Пространственное размещение деревьев на пораженных пожаром лесных территориях .....	176
<b>Гиряев М.Д.</b> Проблемы организации лесопользования в Российской Федерации .....	181
<b>Гиряев М.Д.</b> Лесоустройство: проблемы, решения .....	187
<b>Беляева Н.В., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Фетисова А.А., Кази И.А.</b> Сравнительная оценка структуры живого напочвенного покрова после рубок ухода и комплексного ухода за лесом в сосняках брусничных .....	193
<b>Бессчетнова Н.Н.</b> Сравнительная оценка клонов плюсовых деревьев сосны обыкновенной ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) по параметрам хвои в трехфакторном дисперсионном анализе .....	199
<b>Никишов В.Д., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г.</b> Юбилей славного ученого (к 75-летию со дня рождения профессора Михаила Владимировича Рубцова) .....	205

## ЗАДАЧА О РАЗМОТКЕ НИТИ С ГРУЗОМ

О.Ю. БРЮКВИНА, *ст. преподаватель каф. прикладной математики МГУЛ*,  
 В.И. ЛОБАЧЕВ, *проф., зам. ген. директора ЦУП ФГУП ЦНИИМАШ, д-р техн. наук*,  
 А.А. МАЛАШИН, *проф. каф. Прикладной математики и Математического моделирования МГУЛ, д-р физ.-мат. наук*

bryukvina\_o@mail.ru

В течение нескольких последних лет стало очевидно, что тросовые системы являются одним из направлений, которое все более широко разрабатывается и используется в космической механике. Были полеты TSS1 и TSS1-R. Важные данные были получены от SEDS 1, SEDS 2, PMG, YES и некоторых других успешных программ по тросовым спутниковым системам. В частности YES2 демонстрирует Космическую технологию тросовой почты, то есть поставку маленького полезного груза от спутника на Землю, используя капсулу, опускаемую на тросовой системе [1]. Космический мусор является серьезной проблемой для космической деятельности человечества [2]. Тросовые системы могут использоваться для удаления космического мусора с низких околоземных и геостационарных орбит.

Целью данной работы было изучение особенностей динамического поведения тросовой системы при ее разворачивании на низкой околоземной орбите и проведении анализа данных полета с учетом таких эффектов, как растяжимость троса, распространение поперечных и продольных волн в нем, управление граничным условием на одном из концов разматываемой системы. Система представляет собой два спутника, соединенных между собой гибким тросом (нитью). Масса одного из них (Foton-M3), движущегося по околоземной орбите, много больше массы второго спутника (Fotino). Предполагается, что малый спутник, при разворачивании троса, движется с заданными скоростями по заданной траектории к Земле. В качестве управляющих параметров были выбраны начальная скорость малого спутника и натяжение троса, контролируемое на большом спутнике.

The second Young Engineers Satellite (YES2) является 36-килограммовой экспериментальной установкой, которая была помещена в платформу Foton, запущенную в

космос 14 сентября 2007 г. Целью эксперимента было разворачивание 32-километровой тросовой системы, чтобы точно привести 6-килограммовую сферическую капсулу на заданную траекторию. Детальное описание миссии может быть найдено в [4]. Значение массы малого спутника (FOTINO + MASS) было принято при моделировании 12 кг, а была фактически 14 кг в реальном полете, что значительно сказалось на ходе эксперимента.

1. Математическая модель для задачи разворачивания тросовой системы на низкой околоземной орбите.

Спутник находится на круговой орбите радиуса  $R$ . Он вращается в плоскости с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . На конце нити, разматываемой по направлению к Земле, находится малый спутник массы  $m$ .

В системе координат, связанной со спутником внешними силами, являются сила гравитационного взаимодействия с Землей, центробежная сила и сила Кориолиса. Трос не является проводящим. Здесь мы подразумеваем, что все остальные силы по сравнению с уже учтенными пренебрежительно малы.

Ось  $Ox$  направлена от спутника по направлению к Земле, ось  $Oy$  – против направления движения спутника.

Применение теоремы об изменении количества движения к элементу нити позволяет получить уравнение движения [5], в проекциях на оси координат которое имеет вид

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial}{\partial s} (e \sin \gamma) + 2\omega \frac{\partial x}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial}{\partial s} (e \cos \gamma) - 2\omega \frac{\partial y}{\partial t} + 3\omega^2 (s + x), \quad (2)$$

$$e = \sqrt{(1 + \partial x / \partial s)^2 + (\partial y / \partial s)^2} - 1 \quad (3)$$

– относительная деформация элемента нити.

$$\sin \gamma = \frac{\partial y / \partial s}{1+e}; \quad \cos \gamma = \frac{1 + \partial x / \partial s}{1+e} \quad (4)$$

$a = \sqrt{E/\rho}$  – скорость распространения продольных волн в нити.

Граничные условия

$$x(0,t) = y(0,t) = 0$$

Так как в эксперименте контролируется натяжение, то  $T(0,t) = T_0(t)$  (значения определяются из предварительно сделанного расчета и технического задания).

Длина нити переменная, то есть

$$s = l = l(t).$$

$$x(l(t),t) = X_1(t), \quad y(l(t),t) = Y_1(t),$$

где  $X_1(t)$ ,  $Y_1(t)$  подчиняются динамическим условиям

$$m \frac{\partial^2 Y_1}{\partial t^2} = T(l,t) \sin \gamma(l,t) + 2m\omega \frac{\partial X_1}{\partial t}$$

$$m \frac{\partial^2 X_1}{\partial t^2} = T(l,t) \cos \gamma(l,t) -$$

$$-2m\omega \frac{\partial Y_1}{\partial t} + 3m\omega^2 (l + X_1)$$

Начальные условия

$$s = l(t=0) = 0$$

$$X_1(t=0) = 0, \quad Y_1(t=0) = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} X_1(t=0) = V_0, \quad \frac{\partial}{\partial t} Y_1(t=0) = 0$$

$V_0$  – начальная скорость движения малого спутника.

## 2. Результаты вычислений

Рис. 1–3 иллюстрируют графики натяжения, угла отклонения и координат малого спутника. Результаты были получены для углов, координат и скоростей, приводящих к требованиям эксперимента. В частности, радиус главной круговой орбиты был принят  $R = 6650000m$ , орбитальная скорость  $V = 7550m/s$ , угловая скорость  $\omega = 0,0011356rad/s$ , масса малого спутника (Fotino +Mass)  $m = 12 kg$ , начальная относительная скорость выталкивания  $V_0 = 2,58 m/s$ . Значения натяжения на головном спутнике для настоящего моделирования были взяты из технического задания YES2.

Результаты расчетов показали, что поведение спутника очень чувствительно к изменению начальной массы и скорости.

И даже минимальное отклонение от номинальных параметров приводит к существенному изменению траектории.

## 3. Анализ натяжения троса в конце размотки.

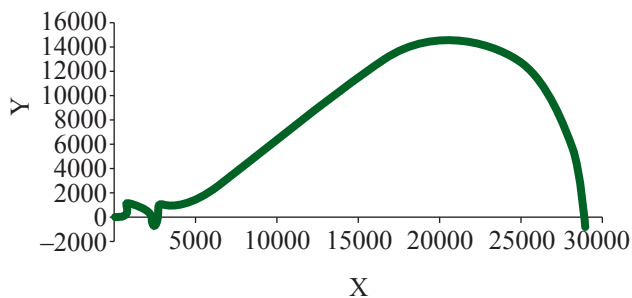


Рис. 1. Траектория малого спутника

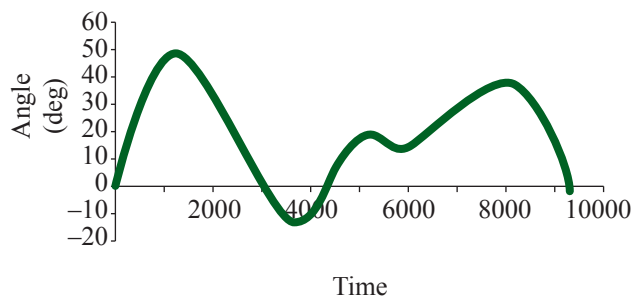


Рис. 2. Зависимость угла отклонения малого спутника от времени

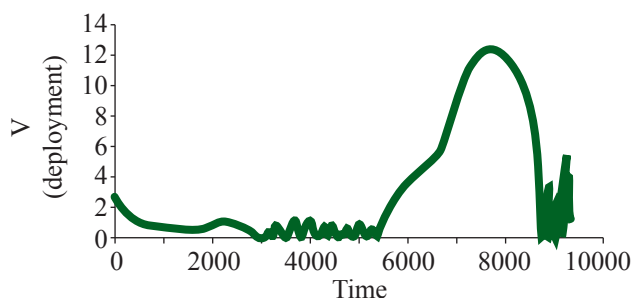


Рис. 3. Зависимость скорости размотывания троса от времени

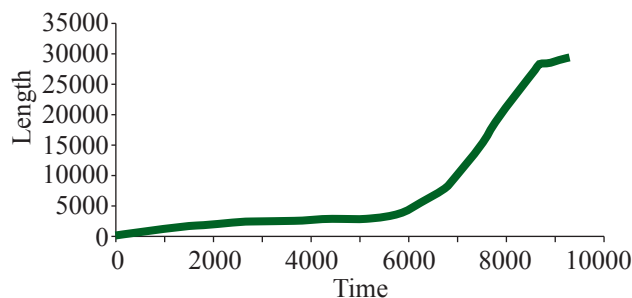


Рис. 4. Зависимость длина троса от времени

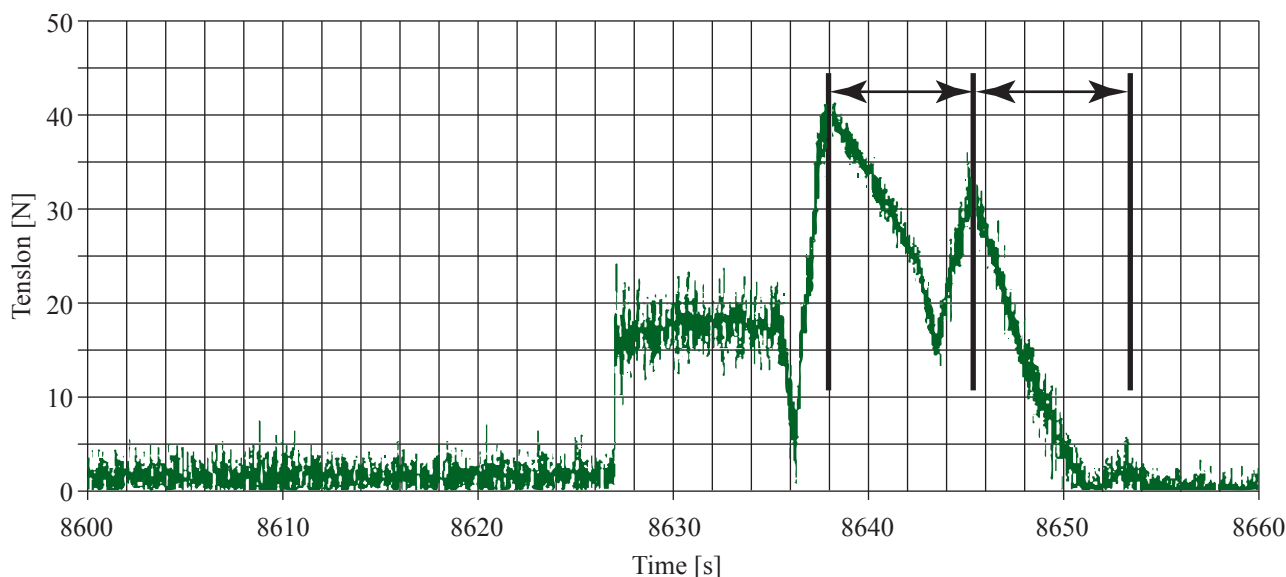


Рис. 5. Зависимость натяжения от времени на FOTON

Миссия YES2 была успешна, но не полностью выполнена. Малый спутник к концу размотки имел скорость большую, чем запланированная. Это произошло по нескольким причинам. Одна из них – при выполнении и соблюдении граничного режима по натяжению масса малого спутника была больше, чем расчетная масса. Чтобы понять ситуацию в конце разворачивания, был выполнен анализ полученных данных полета, основанный на результатах измерений натяжения троса в конце фазы размотки (рис. 5).

Острые скачки натяжения свидетельствуют, что к концу стадии разворачивания у малого спутника была некоторая скорость, которая привела к формированию продольных волн в тросе, которые распространялись от главного спутника (Foton) к малому (Fotino) и назад.

Чтобы выполнить анализ процесса, мы принимаем следующие значения управляющих параметров. Скорость звука  $a = 10000$  м/с, длина размотанного троса  $L = 32000$  м. Таким образом, время прохождения продольной волны от Foton до Fotino  $\tau = L/a = 3,2$  с (эта величина совпадает со временем прохода волны на рис. 5, что косвенно подтверждает, что трос за время эксперимента был размотан на полную длину  $L = 32000$  м), масса Fotino со всеми устройствами 14 кг. Скорость Fotino к концу разворачивания была оценена как максимальная, обеспеченная результатами на-

шего моделирования при  $m = 14$  кг. Начальное натяжение троса  $T_0 \approx 1,5$  N,  $EA = 5000$  N – произведение модуля Юнга на площадь поперечного сечения троса, предложенное Техническим заданием.

В нашем случае  $EA = 5007,23$  H

Зависимость скорости Fotino от времени могла быть получена для промежутков времени, за которые продольная волна идет от одного конца троса к другому  $t = i\tau$ ,  $i = 1, 2, \dots$ . Обозначим как  $B$  величину

$$B = \frac{EAV_0}{a} - T_0 + F,$$

где  $F$  – векторная сумма гравитационных и инерционных сил в направлении троса.

Принимая во внимание, что за время торможения углы наклона троса меняются незначительно, величину  $F$  можно считать постоянной, которая для данной длины троса и для условий полета оказалась равной  $F = 1,34$  Н. В этом случае можно получить асимптотическое решение, которое дает цепь уравнений, позволяющих определить скорость малого спутника для каждого временного интервала

$$V_{1\tau} = \left( V_0 - \frac{Ba}{EA} \right) e^{-\frac{EA}{ma}\tau} + \frac{Ba}{EA}$$

$$V_{2\tau} = \left[ V_{1\tau}(\tau) - \frac{Ba}{EA} + 2V_0 \right] e^{-\frac{EA}{ma}(t-\tau)} + \frac{Ba}{EA} - 2V_0$$

$$\begin{aligned}
 V_{3\tau} &= \left[ V_{2\tau}(\tau) + \frac{Ba}{EA} \right] e^{-\frac{EA}{ma}(t-2\tau)} + \\
 &+ \left( \frac{2B}{m} - \frac{2EAV_0}{ma} \right) t e^{-\frac{EA}{ma}(t-2\tau)} - \frac{Ba}{EA} \\
 V_{4\tau} &= \left[ V_{3\tau}(\tau) + \frac{Ba}{EA} - 2V_0 \right] e^{-\frac{EA}{ma}(t-3\tau)} - \\
 &- \frac{2EA}{ma} \left( V_{1\tau}(\tau) - \frac{Ba}{EA} + 2V_0 \right) (t-3\tau) e^{-\frac{EA}{ma}(t-3\tau)} - \\
 &\quad - \frac{Ba}{EA} + 2V_0 \\
 V_{5\tau} &= \left[ V_{4\tau}(\tau) - \frac{Ba}{EA} \right] e^{-\frac{EA}{ma}(t-4\tau)} - \frac{2EA}{ma} \times \\
 &\times \left[ \left( \frac{EAV_0}{ma} - \frac{B}{m} \right) (t-4\tau)^2 + \right. \\
 &\quad \left. + \left( \frac{Ba}{EA} - V_{2\tau}(\tau) - \frac{Ba}{EA} - V_0 \right) (t-4\tau) \right] e^{-\frac{EA}{ma}(t-4\tau)} + \\
 &\quad + \frac{Ba}{EA}
 \end{aligned}$$

где  $V_{it}$  – скорость малого спутника на каждой фазе отражения волны.

Тогда для того, чтобы определить натяжение на стороне основного спутника для  $i$ -ого временного интервала между последовательными отражениями продольной волны, есть текущая формула

$$T_{i+1}^{Foton} = \frac{V_i}{a} TA + T_i^{Foton}$$

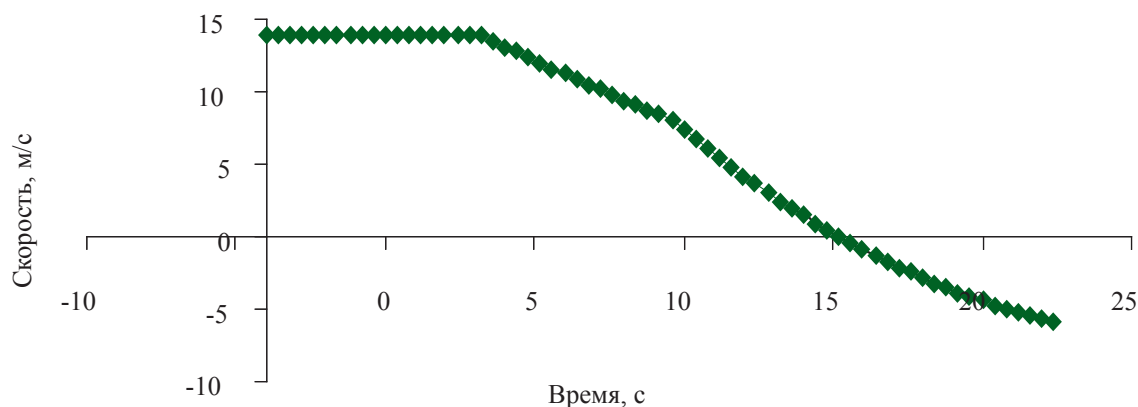


Рис. 6. Зависимость скорости Fotino в направлении развертывания от времени (период торможения)

Чтобы выполнить анализ фактических данных, мы принимаем за  $t = 0$  момент времени, когда развертывание троса заканчивается (скорость на стороне Foton равна нулю). Зависимость скорости Fotino от времени представлена на рис. 6.

Заметим, что в течение времени  $\tau = 3,2s$  Fotino не чувствует, что размотка закончилась. Затем его скорость начинает уменьшаться, пока она не достигает отрицательных величин к моменту конца наших вычислений. Если бы отсечка троса была выполнена после того момента, Fotino должен был продолжить перемещаться в противоположном направлении и его дальнейшая траектория могла быть вопросом независимого исследования.

Полученное решение позволяет получить изменение натяжения троса как на Foton (рис. 7), так и на Fotino (рис. 8). Решение показывает, что сначала, при остановке размотки троса, натяжение на Foton оказывается приблизительно 8 Н и сохраняется постоянным до прихода отраженной волны, которая после прихода со стороны Fotino увеличивает натяжение до 23 Н, которое потом уменьшается из-за постепенного замедления малого спутника Fotino. Волна отражается от Foton, возвращается к Fotino спустя приблизительно 10 секунд после начала процесса и возвращается назад к Foton, что приводит к другому увеличению натяжения приблизительно в 13 сек. Дальнейшее замедление массы конца приносит к уменьшению натяжения.

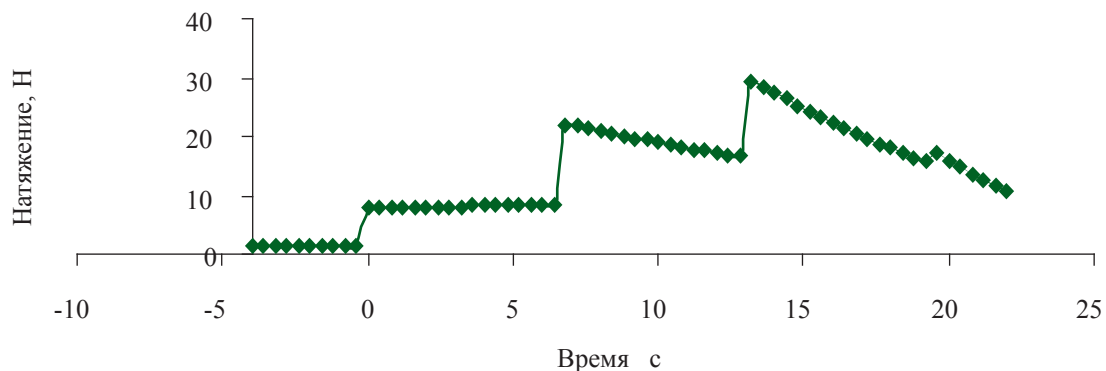


Рис. 7. Зависимость натяжения от времени на Foton

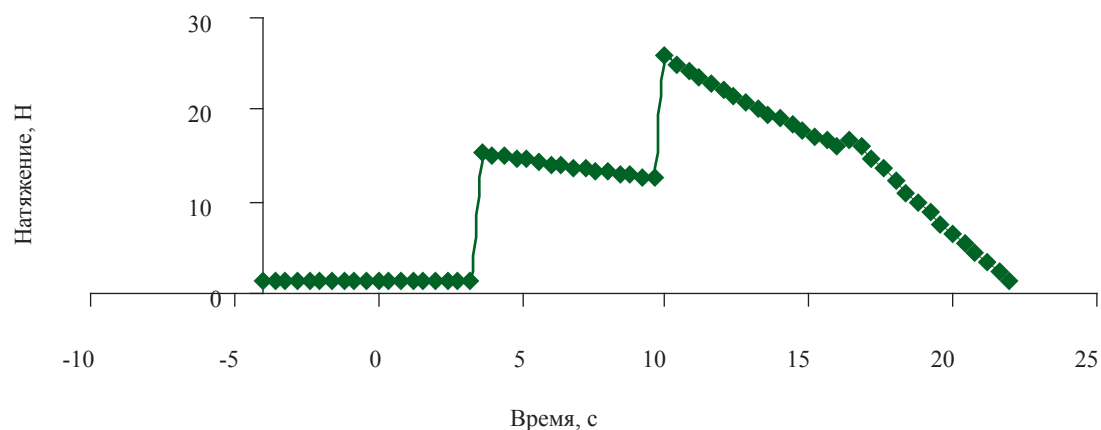


Рис. 8. Зависимость натяжения от времени на Fotino

После 15 сек. скорость становится отрицательной, что предотвращает от отражения волны натяжения. Таким образом, очень маленький пик прибывает в сторону Foton после 20 сек. и натяжение уменьшается до нуля, который приводит к частичному складыванию троса.

Сравнение результатов нашего динамического моделирования для заключительного этапа разворачивания тросовой системы с фактическими данными по значению натяжения в тросе (рис. 5) дает очень хорошее согласие, особенно с точки зрения временных интервалов отражений волн. Это свидетельствует о факте, что наше моделирование было очень близко к действительности, и это немедленно ведет нас к заключению, что развернутая длина троса составляла 32 км, но не 8 км, как об этом сообщили по завершении миссии, основываясь на некоторых косвенных измерениях.

Выполненный анализ и система уравнений приводят нас к заключению, что при-

нятие во внимание распространения поперечных и продольных волн необходимо учитывать в расчетном поведении тросовых систем особенно на стадии торможения.

### Библиографический список

1. Kruijff M., van der Heide E. J. The YES Satellite: a tethered momentum transfer in the GTO orbit, Proceedings of Tether Technology Interchange Meeting, NASA/CP-1998-206900, Jan. 1998.
2. Smirnov, N.N. (Ed.) Space debris hazard evaluation and mitigation. Taylor and Francis, 2002, London, New York.
3. Zvyaguin, A.V., Demyanov Yu.A., Kuksenko B.V., Malashin A.A., Luzhin A.A., Smirnov N.N. Dynamics of tether systems deployment in low Earth orbits. Proc. Scientific Conf. "Lomonosovskie Chteniya" Mechanics. Moscow Univ. Press. 2007, p. 68.
4. Kruijff M., van der Heide E. J., Ockels W.J., Gill E. First Mission Results of the YES2 Tethered Space Mail Experiment. AIAA pap. 092407, 2008, No 7385.
5. Rakhmatulin, Kh.A., Shemyakin E.I., Demyanov Yu.A., Zvyaguin A.V. Strength and fracturing in impulse loading. Moscow: Logos Publ. 2008, 650 p. (in Russian)



## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРОСОВОЙ СИСТЕМОЙ В КОСМОСЕ

А.Л. ОРЛОВ, *асп. каф. физики МГУЛ,*

В.И. ЛОБАЧЕВ, *проф., зам. ген. директора ЦУП ФГУП ЦНИИМАШ, д-р техн. наук*

*mertalo@mail.ru*

**К**осмическая тросовая система – это совершающий орбитальный полет комплекс искусственных космических объектов (спутников, кораблей, грузов), соединенных длинными тонкими гибкими элементами (тросами, кабелями, шлангами). Тросовые системы могут включать много космических объектов, соединенных тросами в форме замкнутых колец, древовидных образований, объемных многогранников. В данной статье тросовая система рассмотрена в виде связки космического аппарата и спутника, соединенных тросом длиной несколько десятков километров.

Одной из самых главных задач во время операции управления малым спутником является процесс его спуска с борта космического корабля. Условимся на простом, но в практическом смысле важном моменте, что система движется по круговой орбите вокруг Земли. Основная проблема в процес-

се спуска при воздействии гравитационной силы заключается в том, что два спутника не движутся по схожим круговым орбитам с постоянной длиной выпускаемого троса. Напротив, спуск приводит к нестабильным движениям с учетом позиции на круговой орбите. В статье предлагается оптимальный способ достижения контролируемого спуска привязанного спутника со стабильной позиции движения космического корабля на стабильную позицию движения спутника вдали от корабля.

### Основные проблемы контроля спуска малого спутника

Идея системы связанных спутников (рис. 1) заключается в том, что два или более спутников на орбите соединены тонкими и длинными тросами (длина до 100 км вполне обычна) и на данный момент хорошо описана в астродинамике. За последнее десятилетие

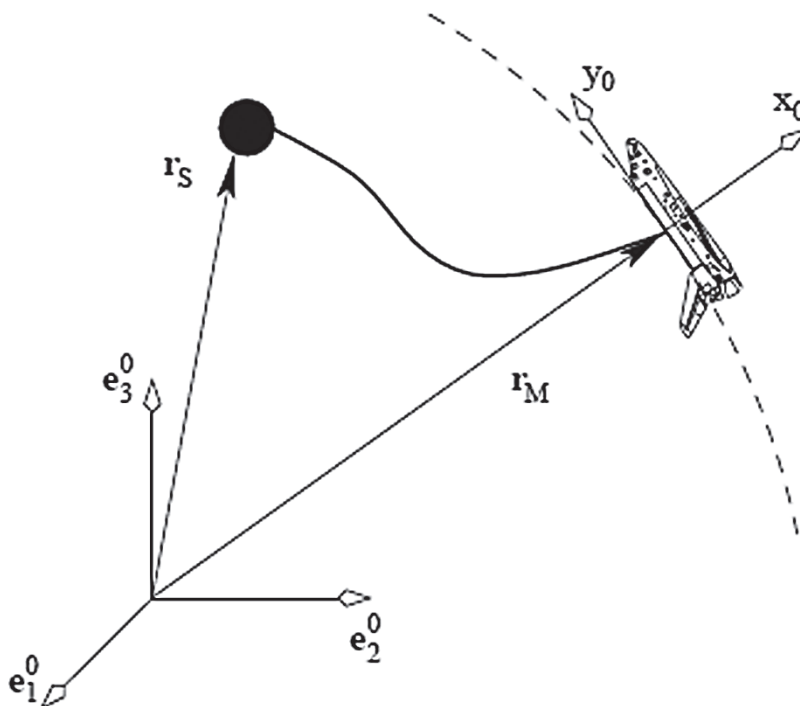


Рис. 1. Тросовая система, состоящая из космического корабля и спутника, вращающихся по устойчивой орбите

20 века было совершено несколько успешных (проект SDES) и не полностью успешных (проект TSS1) полетов на геостационарную орбиту. Существует широкий спектр полезных с практической точки зрения применений TSS (tethered satellite system), начиная с выработки энергии, используя магнитное поле Земли, до увеличения орбиты или запуска с нее спутников путем обрезания привязи в момент равновесия или максимального удаления от Земли. Устойчивое радиальное положение достигается, если система из двух спутников, связанных тросом постоянной длины, движется по круговой орбите, и при этом длина привязи не слишком велика (если этого требует радиус орбиты). Позиция устойчивого равновесия является самым главным элементом такой системы. В таком положении трос находится в натянутом состоянии под воздействием нелинейного гравитационного поля.

В данной статье рассмотрен важный и весьма сложный процесс для системы связанных спутников, а точнее спуск малого спутника с космического корабля, движущегося по круговой орбите Кеплера. В нашу задачу входит спуск малого спутника с начальной позиции устойчивого радиального равновесия, где он близок к космическому кораблю, в позицию устойчивого радиального равновесия, где он находится в отдалении от корабля. Из-за воздействия нелинейной гравитационной силы трос находится в состоянии натяжения. Этот так называемый эффект гравитационного градиента может быть использован при спуске. То есть, после снятия тормоза, сохраняющего длину троса постоянной, расстояние между спутниками начнет увеличиваться. Этот процесс, не регулируемый и не контролируемый, называется свободным спуском.

Процесс свободного спуска имеет два неприятных эффекта. Во-первых, спутник и трос не движутся по радиальной траектории. Следовательно, после завершения процесса спуска система будет испытывать большие колебания амплитуды, которые будут затухать очень медленно (в основном, только за счет вязкоупругости троса, так как данная

система обладает слабым рассеивающим эффектом). Во-вторых, самая большая скорость размотки достигается в самом конце размотки, приводя к сильному толчку. Если не принять особых мер, произойдет большая нагрузка на трос, которая может достичь предела прочности материала троса (кроме того, возможны сильные изменения в траектории движения груза).

Таким образом, даже если свободный спуск является быстрым и полезным с практической стороны способом решения определенных задач, во многих других случаях процесс спуска должен строго контролироваться. В литературе [3] можно найти несколько различных стратегий спуска: 1) свободный спуск с контролем позиции после завершения размотки; 2) контролируемый спуск, использующий закон Киссела [2]; 3) оптимальный контроль процесса спуска; 4) ориентация и стабилизация с помощью стратегии управления хаотичных движений. В работе мною рассматривалась стратегия 3.

Важно отметить особенность приложения управляющего воздействия к тросовой системе спутника. Конечно, управление по подавлению нежелательных колебаний может быть реализовано за счет двигателей, действующих на малом спутнике. Однако проще и эффективней управлять движением малого спутника за счет силы натяжения кабеля, что в литературе называется контролем натяжения. Используя эту стратегию, можно с помощью различной силы натяжения быстро спустить малый спутник из положения радиального относительного равновесия рядом с основным спутником на конечную орбиту, которая при постоянной длине троса будет также являться стабильной позицией радиального относительного равновесия. Отметим, что аналогичная стратегия может быть использована и для контроля возврата малого спутника [4].

Использование принципа максимума Понтрягина [5] позволяет ввести ограничения, являющиеся важными с практической точки зрения. В данной статье введено три различных ограничения: (А) Движение раз-

вертываемого троса будет монотонно возрастать. С практической точки зрения, это будет иметь значение для намотанного троса на катушке, когда его смотка обратно невозможна (в основном тросы хранятся и разматываются с катушки или барабана, причем, если смотка необходима, используются барабаны). (В) Отклонение при развертывании малого спутника по вертикальной составляющей считаются малыми. (С) Силы натяжения во время управляемого спуска всегда должны быть положительными и ограничены по максимальному значению. Ограничения (А) и (В) могут быть проигнорированы. Это приведет к решению, при котором возможно развертывание в кратчайшие сроки. Однако ограничение (С) всегда должно учитываться.

### Определение системы уравнений движения спутника

Будем считать два спутника точечными массами, соединенными прямым невесомым тросом. Как показано на рис. 1, космический корабль ( $M$ ) движется по круговой орбите  $r_M$  вокруг Земли. Малый спутник ( $m$ ) связан с кораблем невесомым тросом, вдоль которого действует сила натяжения  $N$ . В дальнейшем воздействия движений малого спутника  $m$  на корабль не учитываются (это приемлемое допущение ввиду разницы масс на два порядка). Динамика движения спутника  $m$  описывается двумя степенями свободы: угловым наклоном  $\varphi(t)$  относительно радиуса  $r_M$  и расстоянием  $l(t)$  между спутниками.

Определим уравнения движения, используя уравнения Лагранжа в форме

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial V}{\partial q_i} = Q_i. \quad (1)$$

Для определения кинетической и потенциальной энергий ( $T$  и  $V$  соответственно), используем выражения (рис. 2)

$$y = r_M \cos \omega t + l \cos(\omega t + \varphi),$$

$$z = r_M \sin \omega t + l \sin(\omega t + \varphi). \quad (2)$$

Далее из (2) получаем

$$\begin{aligned} \dot{y} &= -r_M \omega \sin \omega t - \\ &- l(\omega + \dot{\varphi}) \sin(\omega t + \varphi) + \dot{l} \cos(\omega t + \varphi), \\ \dot{z} &= r_M \omega \cos \omega t + l(\omega + \dot{\varphi}) \cos(\omega t + \varphi) + \\ &+ \dot{l} \sin(\omega t + \varphi). \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, кинетическая энергия малого спутника  $m$  равна

$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{2} m (\dot{y}^2 + \dot{z}^2) = \frac{m}{2} (r_M^2 \omega^2 + l^2 (\omega + \dot{\varphi})^2 + \\ &+ 2r_M \omega \dot{l} \sin \varphi + 2r_M \omega \dot{l} (\omega + \dot{\varphi}) \cos \varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

Обозначив  $r$  расстояние от центра притяжения до спутника  $S$

$$\begin{aligned} r^2 &= (r_M + l \cos \varphi)^2 + l^2 \sin^2 \varphi = \\ &= r_M^2 (1 + 2(l/r_M) \cos \varphi + (l/r_M)^2), \end{aligned} \quad (5)$$

получим выражение для потенциальной энергии  $V$

$$V = -\frac{km}{r} = \frac{-km}{\sqrt{r_M^2 + 2lr_M \cos \varphi + l^2}}, \quad (6)$$

где  $k$  есть гравитационная постоянная Земли. Далее получаем

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial l} &= \frac{km(r_M \cos \varphi + l)}{\sqrt{(r_M^2 + 2lr_M \cos \varphi + l^2)^3}} = \\ &= mr_M \omega^2 (\cos \varphi + (l/r_M) \times \\ &\times [1 - 3 \cos^2 \varphi] + O(l/r_M)^2), \end{aligned} \quad (7)$$

принимая во внимание

$$(l/r_M) \ll 1 \text{ и } Mr_M \omega^2 = Mk/r_M^2.$$

Аналогично получаем

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial \varphi} &= \frac{-kmr_M l \sin \varphi}{\sqrt{(r_M^2 + 2lr_M \cos \varphi + l^2)^3}} = \\ &= -mr_M l \omega^2 \sin \varphi (1 - 3(l/r_M) \cos \varphi + O(l/r_M)^2). \end{aligned} \quad (8)$$

Подставив в (1), получим

$$l \ddot{\varphi} + 2\dot{l}(\dot{\varphi} + \omega) + 3l\omega^2 \sin \varphi \cos \varphi = 0.$$

$$\ddot{l} - l(3\omega^2 \cos^2 \varphi + 2\omega \dot{\varphi} + \dot{\varphi}^2) = -N/m. \quad (9)$$

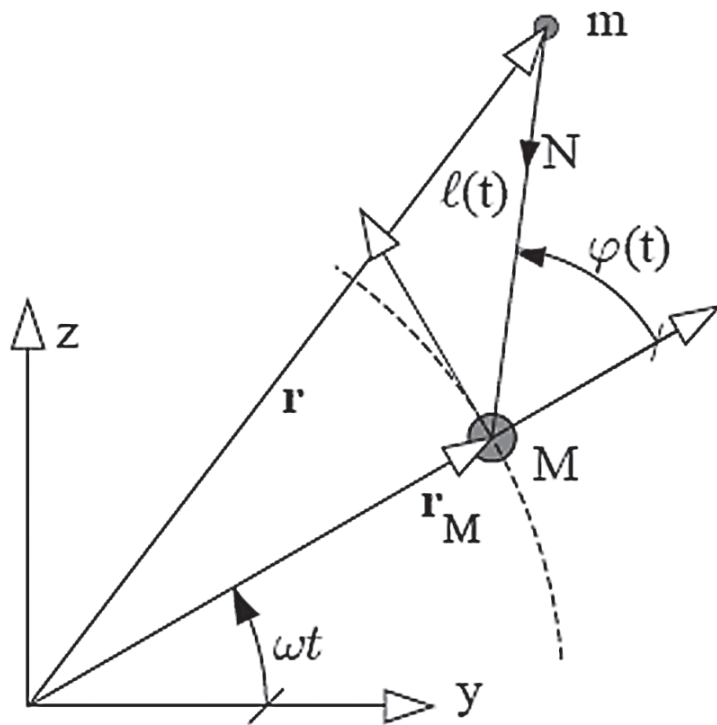


Рис. 2. Две точечные массы  $m$  и  $M$  соединены тросом

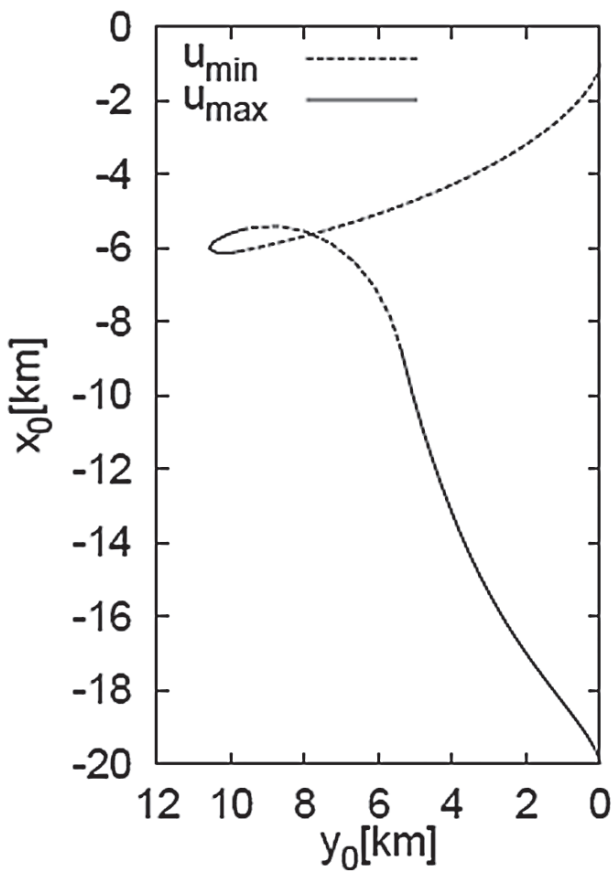


Рис. 3. Траектория малого спутника при оптимальной стратегии спуска

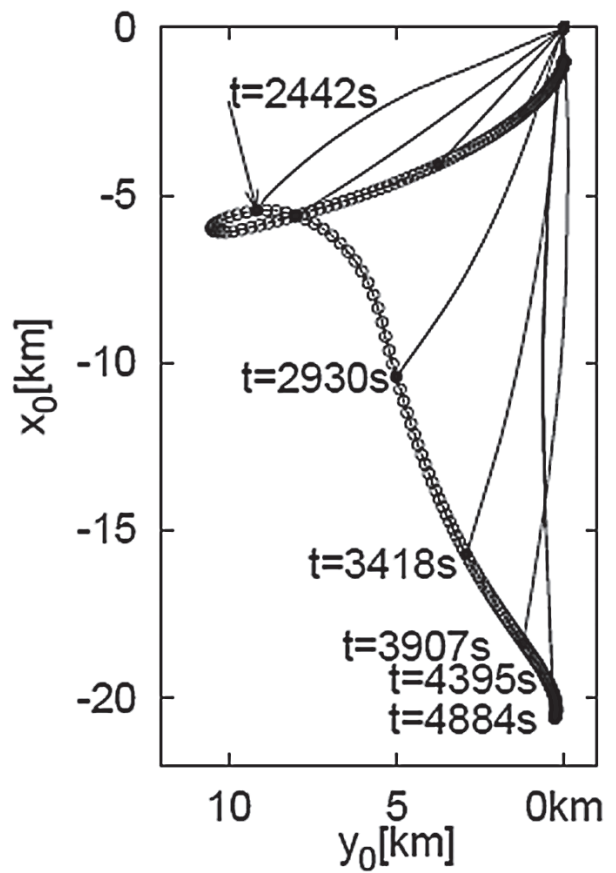


Рис. 4. Реальная траектория движения спутника

Далее введем безразмерные величины длины троса  $\xi = l / l_T$  и времени  $\tau = \omega t$ . Здесь  $l_T = l(T)$  есть конечная длина троса и  $\omega$  есть угловая скорость. В итоге получим

$$\ddot{\varphi} + 2\frac{\dot{\xi}}{\xi}(\dot{\varphi} + 1) + 3 \sin \varphi \cos \varphi = 0,$$

$$\ddot{\xi} - \xi(3 \cos^2 \varphi + 2\dot{\varphi} + \dot{\varphi}^2) = -\frac{N}{m\omega^2 l_T} = -u, \quad (10)$$

где  $u$  есть безразмерная сила натяжения троса, впоследствии используемая как контрольная величина. Величина  $u$  пропорциональна силе натяжения  $N$  и изменяется в интервале  $[u_{\min}, u_{\max}]$ , где  $u_{\min} \geq 0$  ввиду того, что трос не испытывает сил сжатия. Сила натяжения во время управляемого спуска всегда должна быть положительна и ограничена по максимальному значению  $u_{\max} = 1,05u_s$ , где  $u_s = 3$  есть статическая сила натяжения.

### Применение оптимальной стратегии размотки тросовой системы

Стратегия, разработанная в [1, 5], отлично подходит для упрощенной модели системы связанных спутников. Считая, что отклонения движения малого груза по вертикальной составляющей малы и соотношение длин троса  $\xi_0/\xi_T = 1/20$ , получаем три переходных интервала, как показано на рис. 3. Вычисленная траектория полета малого спутника совпадает с реальной траекторией движения, показанной на рис. 4, за исключением расхождений в самом конце спуска. Небольшая корректировка переходных интервалов может устранить эти расхождения. Здесь важным моментом выступает то, что мы контролируем систему заданием силы натяжения выпускаемого троса. Поэтому конечный процесс размотки сильно зависит от накопленных мелких погрешностей, которые могут вызвать сильные отклонения от запланированной траектории. Возможным путем решения этой проблемы может быть либо переход к постоянной длине троса или установка дополнительного датчика контроля на спускаемом грузе.

Для большей наглядности и понятности процесса обозначим несколько фактов. Во-первых, мы предполагаем свободное контролируемое разворачивание троса. Начальное положение малого спутника на 1 км ниже кос-

мического корабля на устойчивой геоцентрической орбите. Процесс разворачивания прекращается после размотки 20 км троса. Для малого спутника массой 1000 кг и массой троса 1 кг/км получим время размотки  $T = 2650$  сек. Однако при данных условиях, груз сильно отклонится от необходимой траектории, а его дальнейшее движение становится нестабильным и труднопрогнозируемым. Оптимальный процесс спуска показан на рис. 4 и занимает  $T = 4884$  сек. В этом случае система достигнет положения равновесия и может в дальнейшем по необходимости корректироваться.

### Выводы

Целью данной статьи было описание специфики задачи об управлении разворачиванием тросовой системы и ее основных проблем. Была предложена стратегия разворачивания тросовой системы, основанная на принципе максимума Понтрягина, которая направляет привязанный малый спутник с геостационарной орбиты космического корабля на более низкую орбиту путем контроля натяжения троса. Моделирование данной стратегии дало результаты, прекрасно согласующиеся с реальными данными полета.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта от 13 сентября 2011 г. №16.523.12.3006.

### Библиографический список

1. Алпатов, А.П. Динамика космических систем с тросовыми и шарнирными соединениями / А.П. Алпатов, В.В. Белецкий, В.И. Драновский и др. – Ижевск: РХД, 2007. – 559 с.
2. Bainum, P. and Kumar, V.K., 'Optimal control of the shuttle-tethered-subsatellite system', Acta Astronautica, 7, 1980, 1333–1348.
3. В. Barkow, A. Steindl, H. Troger, G. Wiedermann: «Various Methods of Controlling the Deployment of a Tethered Satellite»; Journal of Vibration and Control, 9 (2003), S. 187–208
4. A. Steindl, H. Troger: «Optimal Control of Deployment of a Tethered Subsatellite»; Nonlinear Dynamics, 31 (2003), S. 257–274.
5. Leitmann, G., 'An Introduction to Optimal Control', McGraw-Hill, N.Y., 1966.

## ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф. ИИС и ТП МГУЛ, д-р техн. наук,*

Д.Г. ЩУКИН, *асп. каф. ИИС и ТП МГУЛ,*

И.М. СТЕПАНОВ, *проф. каф. вычислительной техники МГУЛ, д-р техн. наук*

*burkov@mgul.ac.ru*

С усилением антропогенного влияния на природу большую актуальность приобретает проблема мониторинга окружающей среды. Значительный интерес представляет контроль состояния атмосферы, поскольку через атмосферу происходит перенос основного количества загрязнений. В нашей стране в связи с износом основных фондов и использованием устаревшего оборудования на первый план выходит проблема контроля атмосферной обстановки в зонах кризисных ситуаций.

Традиционно мониторинг атмосферы выполняется с применением контактных и дистанционных методов. Контактные методы основаны на использовании широкого спектра химических, электрофизических, оптических и др. эффектов. Дистанционные методы – это, прежде всего, оптические методы, в частности методы лазерного зондирования (лидарные методы). Контактные методы вследствие более раннего возникновения получили наибольшее распространение, однако эти методы не могут удовлетворять требованиям современных методов мониторинга атмосферы из-за невозможности получения общей картины атмосферных процессов с высоким пространственным и временным разрешением, а также сложностью проведения наблюдений на больших высотах.

Необходимость использования методов лазерного зондирования состоит в том, что они позволяют измерять метеопараметры атмосферы и содержание газовых компонент и аэрозольных частиц в атмосфере с высоким пространственным и временным разрешением, охватывая диапазон высот от приземного слоя до мезосферы. Главным преимуществом лидарных методов является возможность оперативного мониторинга атмосферы по широ-

кому спектру параметров с построением карт распределения измеряемых параметров. Важной особенностью лидарных методов является также то, что проведение лидарных измерений не требует установки дополнительного оборудования перед проведением сеанса измерений.

Перспективным методом лидарного контроля атмосферы является метод дифференциального поглощения. Этот метод позволяет определять концентрации молекулярных загрязнителей в атмосфере. Причем, проводя зондирование в видимом и УФ спектральном диапазоне, можно находить концентрации более десятка атмосферных примесей, а расширив диапазон в ИК область, применяя многочастотное зондирование, можно получать информацию о большом числе органических загрязнителей. Все это дает возможность контролировать атмосферную ситуацию и прогнозировать ее развитие в зоне чрезвычайных ситуаций (ЧС) на больших расстояниях от лидарного комплекса.

Следует отметить, что при достаточно высоком уровне разработки физических принципов, на которые опирается лидарный метод, остаются большие возможности для разработки новых методик и современной аппаратуры на базе новейших достижений техники с целью расширения возможностей лазерного мониторинга атмосферы. Кроме того, развитие современной техники, связанное с созданием нового класса перестраиваемых лазеров, совместно с развитием компьютерных систем и успехами в области обработки лидарного сигнала создало серьезные предпосылки к качественному изменению в области построения лазерных систем мониторинга и сделало возможным создание надежных систем определения параметров атмосферы.

Важной задачей при создании лидарных систем является разработка лазеров, обеспечивающих большой диапазон перестройки, высокую стабильность параметров излучения и высокую надежность при длительной эксплуатации.

Одной из наиболее перспективных в данном направлении является использование новых малогабаритных полупроводниковых лазеров в ближнем инфракрасном диапазоне длин волн, обладающих узкой спектральной линией излучения. Появилась возможность создания высокоточных и малогабаритных оптических анализаторов примесных газов в спектральной области 1–20 мкм, где находятся линии поглощения таких газов, как метан, углекислый газ, окиси азота, аммиака, воды и т.д., имеющие ширину линии около 0,1 нм. Ширина линий излучения полупроводниковых лазеров с распределенной обратной связью (РОС-лазеры) составляет около 0,01 нм, что дает возможность точно определять форму линий примесных газов.

В последние годы осуществляются как лабораторные исследования, так и натурные измерения наличия примесных газов в атмосфере с помощью полупроводниковых лазеров [1]. В этих измерениях отражение происходит от природных объектов: земного покрова, леса, также от искусственных сред типа строения, дороги и т.д. Рассмотрим возможные варианты построения реального прибора с излучателем непрерывной мощности  $P \sim 10$  мВт, которую обеспечивают серийные коммерческие лазеры ближнего ИК диапазона. Естественно, луч лазера должен быть сколлимирован передающей системой в узкий, слабо расходящийся пучок, который отражается от диффузных объектов с коэффициентом отражения от  $\sim 90$  до  $\sim 5\%$  (белый снег, вспаханная земля). При таких коэффициентах отражения к приемному объективу в лучшем случае вернется от  $\sim 9 \cdot (d/R)^2$  мВт до  $\sim 0,5 \cdot (d/R)^2$  мВт лазерного излучения. Здесь  $d$  – диаметр приемного объектива,  $R$  – расстояние до отражающей поверхности. Принимая потери в оптике 50 %, получаем, что до чувствительной площадки фотодетектора дойдет

от  $4,5 \cdot (d/R)^2$  до  $0,25 \cdot (d/R)^2$  мВт лазерной мощности. В случае использования рpn-диодов основными шумами приемного тракта являются тепловые шумы входного усилителя [5], определяемые формулой

$$i_{ш}^2 = 4kTB/R_{ex}, \quad (1)$$

где  $i_{ш}^2$  – квадрат шумового тока на входной нагрузке  $R_{ex}$  усилителя;

$k$  – постоянная Больцмана;

$T$  – температура;

$B$  – полоса частот. Подставляя в (1) реальные значения  $T = 300^\circ\text{K}$ ,  $R_{ex} = 1$  кОм,  $B = 1$  МГц получаем  $i_{ш}^2 = 4 \cdot 10^{-9}$  А.

Полезный сигнал определяется чувствительностью фотодетектора и принимаемой мощностью оптического сигнала, то есть

$$i_c = S \cdot Pc, \quad (2)$$

где  $i_c$  – ток полезного сигнала;

$S \sim 0,5$  А/Вт – чувствительность фотоприемника,

$Pc$  – принимаемая мощность.

Учитывая, что  $Pc = P \cdot m \cdot (d/R)^2$ , получаем

$$i_c = S \cdot P \cdot m \cdot (d/R)^2, \quad (3)$$

где  $m = 0,25-4,5$  – коэффициент передачи лазерного излучения;

$P = 10$  мВт – мощность лазерного источника.

Считая, что пороговая чувствительность достигается при  $i_c/i_{ш} = 1$ , а  $d = 0,1$  м, получаем, приравнявая (1) и (3),  $R = 50$  м при  $m = 0,25$  и  $R = 900$  м при  $m = 4,5$ .

То есть максимальное расстояние, на котором уверенно может работать лазерный газоанализатор, не превышает 50 метров, при отражении от темной поверхности. На самом деле реально это расстояние может быть еще меньше, поскольку, во-первых, надежный результат может быть получен при отношении сигнал/шум больше 1 (реально 10), а во-вторых, не учитываются метеоусловия на трассе, которые могут существенно снизить принимаемый сигнал.

При отражении света от облачных образований применяются мощные импульсные твердотельные лазеры. Для этого слу-

чая подробный расчет энергетики и апробация аппаратуры были проведены в [2]. Было выяснено, что чувствительности аппаратуры достаточно для определения концентрации частиц вплоть до расстояний 1–2 км. Причем, точность определения концентраций может составлять в зависимости от состояния атмосферы около 10 молекул/см или 0,1 ppt (частей на миллион). Такая точность вполне достаточна для осуществления мониторинга таких газов, как SO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> в атмосфере. Необходимо отметить, что для осуществления таких измерений применялся мощный импульсный лазер с энергией в импульсе ~ 0,1 Дж, а также приемный телескоп с площадью зеркала ~ 1 м<sup>2</sup>. В качестве фотоприемника использовался фотоэлектронный умножитель

с чувствительностью ~ 5·10<sup>2</sup> А/Вт. Применение фотоумножителя оказывается возможным в силу того, что в последнее время появились высокоэффективные малогабаритные ФЭУ в ближнем инфракрасном диапазоне [3], что позволяет надеяться на регистрацию молекул, поглощающих и на длинах волн более 1–5 мкм.

Для надежной и точной работы лазерного газоанализатора необходимо точно удерживать длину волны лазерного излучения на линии поглощения исследуемого газа. В [4] описывается устройство для стабилизации длины волны полупроводникового лазера, которое применялось в системе дистанционного зондирования метана. Необходимая точность удержания линии излучения лазера

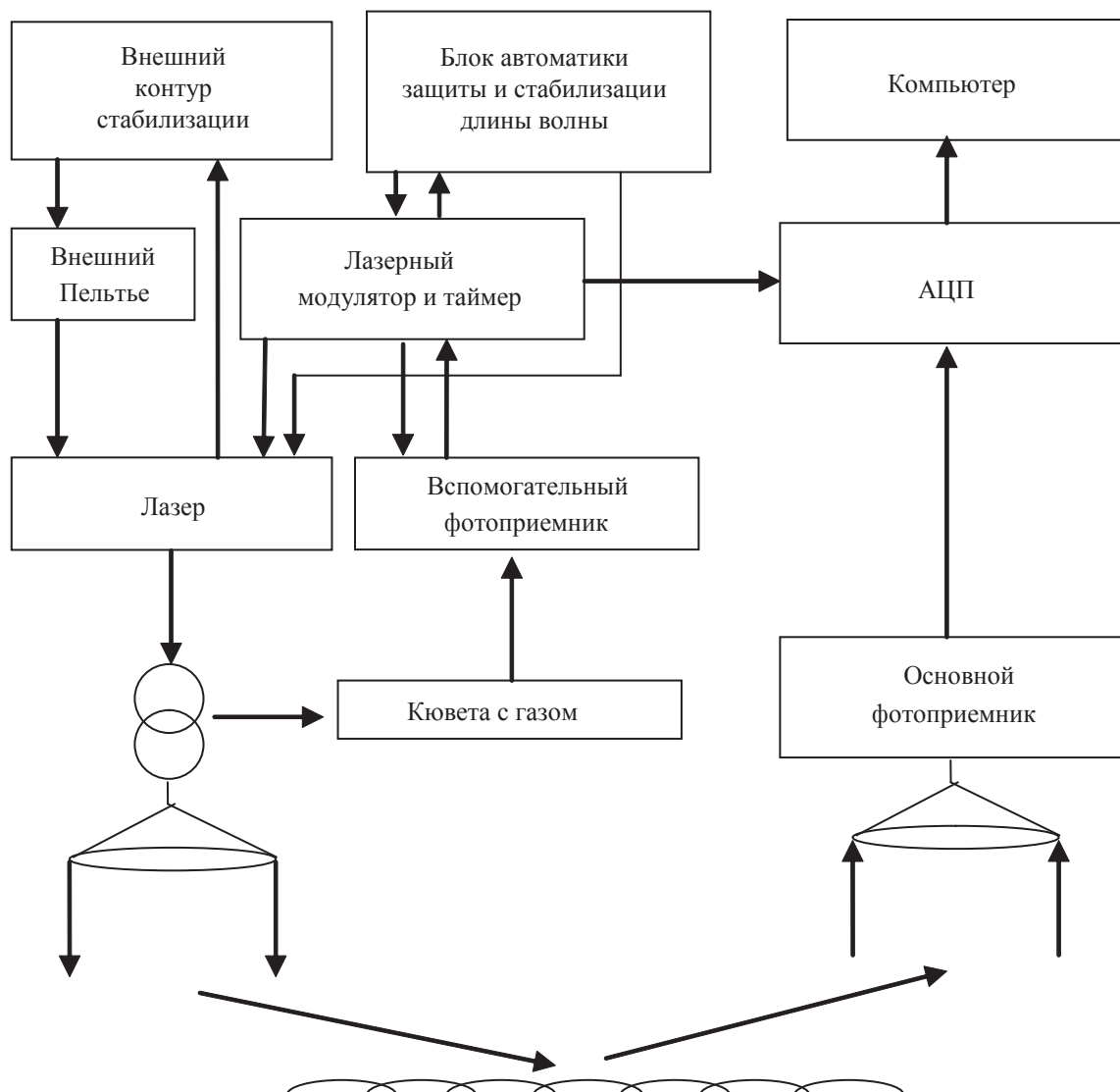


Рисунок. Блок-схема лазерного газоанализатора с системой стабилизации длины волны



должна быть в пределах 0,01 нм, поскольку ширина линии поглощения в атмосфере составляет 0,1 нм. Описание устройства, в котором это реализовано, приведено в [5]. Блок-схема макета, в которой применялось данное устройство, показано на рисунке. Сигнал с волоконного выхода лазерного модуля направлялся на трассу. Отразившись от диффузного рассеивателя, сигнал принимался 25-сантиметровым зеркально-линзовым объективом и детектировался рpn-фотодиодом с диаметром чувствительной площадки – 2 мм, затем оцифровывался 12-разрядным аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и поступал в персональный компьютер (PC) по кабелю RS-232. В PC сигнал анализировался с целью выявления концентрации метана на трассе. Для работы лазерного источника на линии метана предусмотрены два контура стабилизации длины волны лазера. Первый контур – прецизионный, и его работа описывается следующим алгоритмом. Два стробирующих импульса по обе стороны от центра линии поглощения сравниваются между собой по амплитуде во вспомогательном фотоприемнике, и вырабатываемый сигнал ошибки управляет внутренним элементом Пельтье лазера, подстраивая, таким образом, длину волны лазерного излучения точно к центру линии поглощения метана. Все сигналы синхронизации и модуляции образуются в таймере и распределяются по отдельным блокам. Модуляция лазера осуществляется по пилообразному закону с частотой 2 кГц, а перестройка длины волны осуществляется в диапазоне ~0,1 нм, точность удержания длины прецизионным контуром составляет 0,005 нм.

В связи с высокой динамичностью атмосферных процессов и неоднородностью атмосферы, следует отметить, что на современном уровне недостаточно одиночных измерений отдельных параметров. Для обеспечения прогнозирования развития атмосферной ситуации в зоне кризисных ситуаций требуется высокая оперативность проведения измерений, зондирование максимально доступного числа компонентов при высокой точности получаемых результатов. Измери-

тельная аппаратура должна обладать высокой надежностью для обеспечения мониторинга круглосуточно и в составе объединенной сети наблюдательных пунктов.

Передвижные лидарные комплексы решают поставленные задачи атмосферного мониторинга на современном уровне. Отсутствие высоких требований к дальности зондирования позволяет разработать многофункциональную лидарную систему, обеспечивающую контроль большого числа параметров атмосферы, а установка оборудования на подвижном основании позволяет обеспечивать большой радиус проведения измерений. Проведение измерений совместно с системой стационарных лидарных постов позволяет проводить постоянный контроль атмосферы в зонах предполагаемых кризисных ситуаций.

Разработка передвижной лидарной установки для измерения концентрации газовых примесей в атмосфере, объединяющей в себе импульсный лидар дифференциального поглощения на основе перестраиваемого лазера в видимом, ИК и УФ диапазонах является важной частью программы создания системы мониторинга, кроме того разработка автономного комплекса для контроля и прогнозирования атмосферной обстановки в зоне ЧС имеет огромное практическое значение.

### Библиографический список

1. Еремин, В.М. Лазерный газоанализатор для обнаружения утечек газообразных углеводородов из техногенных объектов / В.М. Еремин, Ф.Н. Любченко, Ю.П. Сырых, П.Г. Филипов. Патент РФ на полезную модель, RU 64779, МПК G01N 21/61.
2. Dubinsky I. Frequency-modulation impact remote sensing // *Appl.Phys.* 1998, Vol. 7, p.21.
3. Photomultiplier tube V3309Y68/699, [www.hamamatsu.com](http://www.hamamatsu.com).
4. Григорьевский, В.И. Устройство стабилизации длины волны лазера в системе контроля газовых компонент атмосферы на участках магистральных газопроводов / В.И. Григорьевский, В.П. Садовников, В.В. Хабаров // *Экологические системы и приборы*, 2006. – Т. 9. – С. 3–5.
5. Григорьевский, В.И. Дистанционный лазерный газоанализатор метана / В.И. Григорьевский, М.В. Григорьевская, Ф.А. Егоров, Ф.Н. Любченко и др. // патент РФ на полезную модель, RU 89705 от 31 07 2009 г.

А.Ю. БЕРЕЗНИКОВ, *асп. каф. ВСuС МГИЭМ,*  
В.П. ДМИТРИЕВ, *проф. каф. ВСuС МГИЭМ, д-р техн. наук*

*korolkov@mgul.ac.ru*

Испытаниям подвергается аппаратура лазерной атмосферной линии связи для построения каналов связи типа «точка–точка».

Задачами испытаний являются:

- получение параметров аппаратуры и проверка их соответствия паспортным данным;
- сравнительный анализ аппаратуры по следующим критериям: дальность, скорость, надежность, доступность, стоимость, эксплуатационная пригодность.

Методика испытаний аппаратуры ЛАЛС включает проверку установочных требований и механической стойкости конструкции аппаратуры ЛАЛС к эксплуатационным воздействиям и тестирование логического канала в составе ЛВС.

Проверка установочных требований и механической стойкости конструкции аппаратуры ЛАЛС к эксплуатационным воздействиям включает следующие этапы:

- подготовка площадки для монтажа оборудования ЛАЛС в соответствии с требованиями производителя оборудования;

- установка оборудования ЛАЛС на монтажной площадке.

В процессе монтажа оценивается сложность установки, крепежа и настройки аппаратуры ЛАЛС, а также общее время инсталляции. Оцениваются способы настройки оптических систем, точность (шаг) перемещений механизма настройки и способы фиксации параметров. Оценка всего механизма настройки оптической системы строится с учетом продолжительного теплового и механического воздействия.

Так как приемо-передающее оборудование ЛАЛС размещается на высоте, важным элементом системы является кабель снижения. Поэтому производится оценка его следующих параметров:

- максимальная длина и возможность ее изменения (пользователем или производителем по требованию);

- защита от поражения электротоком;
- защита от воздействия электромагнитного поля;

- защита от гроз;
- типы разъемов и их стойкость к воздействию внешних факторов.

Завершает инсталляцию аппаратуры ЛАЛС установка интерфейсного модуля и подключение его к ЛВС. При установке интерфейсного модуля оцениваются:

- требования к помещению (температура максимальная и минимальная, влажность, наличие насекомых, максимальный уровень запыленности);

- требования к питанию (тип напряжения, стабильность напряжения, уровень помех);

- требования к типу интерфейса ЛВС (возможные варианты);

- наличие цепей защиты от воздействия скачков напряжений, не только по цепям питания, но и по информационным входам (оценка ведется по технической документации производителя);

- способы установки модуля (настенный, напольный, установка в стойку (тип стойки));

- сложность настройки и ее продолжительность;

- особые требования к ЛВС (определенные IP-адреса, MAC-адреса).

В процессе тестовой эксплуатации АЛКС проверяется воздействие среды на оптическую систему, опорную конструкцию и интерфейсный модуль. Фиксируются отклонения конструкции от первоначальных значений, степень загрязненности оптической системы, выходы оборудования из строя из-за гроз, колебаний в электросети. При повреждении оборудования ЛВС из-за недостатков конструкции оформляется соответствующий акт и предъявляются претензии к производителю.

Испытательный стенд состоит из двух комплектов измерительного и каналобразу-

ющего оборудования (рисунок). Комплект измерительного и каналобразующего оборудования состоит из аппаратуры ЛАЛС (2 шт.) и персонального компьютера с установленной операционной системой Linux или Windows и измерительным программным обеспечением Iperf (2 шт.).

Оценка характеристик передачи данных в оптическом атмосферном канале связи производится с помощью свободно распространяемого программного пакета Iperf (<http://dast.nlanr.net/projects/Iperf/>). Основные характеристики данного пакета.

Работа с протоколом TCP:

- измерение пропускной способности TCP-потока данных;
- автоматическое определение размера MTU;

- изменение размера TCP-окна;

- многопоточность.

Работа с протоколом UDP:

- генерация потоков заданной пропускной способности;

- измерение потерь пакетов;

- измерение джитера задержки передачи;

- генерация multicast-потоков;

- многопоточность (только для ОС Linux);

- может работать в течение заданного количества времени;

- отображает промежуточные значения пропускной способности, джитера и потерь пакетов через заданные промежутки времени;

- может использовать заданные потоки данных для оценки влияния компрессии, осуществляемой на низких уровнях модели OSI.

Программный пакет Iperf устанавливается на персональные компьютеры обоих комплектов измерительного оборудования, при этом один из них выполняет функции сервера, а другой – клиента. Комплекты измерительного и каналобразующего оборудования устанавливаются на площадках, расстояние между которыми различно. Для каждой пары площадок проводятся следующие эксперименты.

Оценка максимальной пропускной способности канала:

- измерение пропускной способности одного и нескольких TCP-потоков данных при различных размерах TCP-окна;

- измерение максимальной пропускной способности UDP-потока при заданном допустимом количестве потерь пакетов;

- исходя из полученных данных, вычисление максимальной пропускной способности канала.

Оценка качества и надежности работы канала при различных погодных условиях:

- в течение длительного времени осуществляется генерация в канале UDP-потока с полученной в первом эксперименте пропускной способностью;

- осуществляется фиксация характеристик внешних погодных условий и параметров UDP-потока: количества потерь пакетов и джитера задержки передачи;

- вычисление на основе полученных данных коэффициентов готовности и вероятностей потерь пакетов при различных погодных условиях.

На основе полученных данных экспериментов делаются выводы о соответствии технических характеристик аппаратуры ЛАЛС требуемым критериям.

Все результаты испытаний, включая проверку установочных требований и механической стойкости конструкции аппаратуры

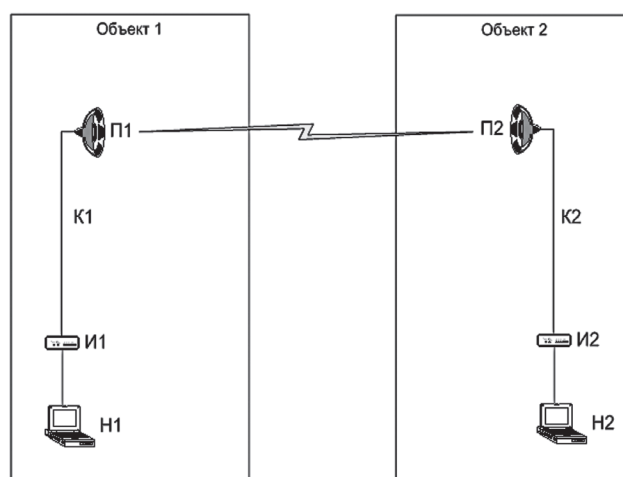


Рисунок. Схема испытательного стенда: П1, П2 – приемо-передающее оборудование; К1, К2 – кабели снижения; И1, И2 – интерфейсные модули; Н1, Н2 – ПЭВМ на объектах

ры ЛАЛС к эксплуатационным воздействиям, тестирование логического канала на соответствие паспортным данным и испытание канала в составе ЛВС, заносятся в журнал испытаний по каждому типу оборудования.

По результатам испытаний делается вывод о соответствии параметров каждого типа аппаратуры ЛАЛС паспортным данным.

По фактическим результатам испытаний осуществляется сравнительный анализ аппаратуры лазерных каналов связи по критериям дальности, скорости передачи данных, стоимости и эксплуатационной пригодности.

Для надежной работы атмосферных оптических линий связи необходимо предварительно спланировать трассу прохождения сигнала. При проведении анализа нужно придерживаться следующих принципов:

- на линии луча приемо-передающего модуля (ППМ) не должно быть препятствий;

- необходимо учитывать сезонные изменения (появление листьев на кроне дерева, провисание проводов в теплое время года и т.д.);

- не следует прокладывать трассу над трубами предприятий. При выбросах образуются облака пара, взвешенных частиц, которые могут ухудшить связь между ППМ.

Данные принципы должны соблюдаться на всем протяжении работы канала.

При подготовке площадки и монтаже аппаратуры ЛАЛС необходимо соблюдать следующие требования:

- основание площадки должно быть жестким (капитальная стена здания, пересечение стен, ребра жесткости конструкций);

- конструкция площади не должна искривляться под действием тепловых и ветровых факторов;

- для обеспечения техники безопасности, как при монтаже, так и при эксплуатации канала, необходимо размещать ППМ в недоступных для неквалифицированного персонала местах.

Опора ППМ должна надежно крепиться на бетонное основание или кирпичную кладку с помощью анкерных болтов. Главное, чтобы основание ППМ жестко крепилось на самих болтах, а не на гудроне, рубероиде и т.д. Крепление на мягкие материалы может привести к непредсказуемым движениям ППМ.

На основании данной методики выбор места установки аппаратуры ЛАЛС должен выполняться с учетом перечисленных выше рекомендаций и требований для обеспечения наиболее эффективной работы ЛАЛС.

#### **Библиографический список**

1. Дмитриев, В.П. Атмосферные оптические каналы связи / В.П. Дмитриев, А.К. Гребнев // Электроника и техника СВЧ и КВЧ. – Т. 5. – Вып. 3. – 1997.
2. Ррозеншер, Э. Оптоэлектроника / Э. Ррозеншер, Б. Винтер. – М.: Техносфера, 2004.
3. Клоков, А.В. Беспроводные ИК-технологии, истинное качество «последней мили» / А.В. Клоков // Технология и средства связи, 1999.

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

А.В. БАБИН, *асп. каф. системы автоматического управления МГУЛ,*

И.П. КОЗЛОВ, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук*

*naoreshek@yandex.ru*

**С**овременный этап развития ракетно-космической техники (РКТ) характеризуется переходом от аналоговых к цифровым системам управления (СУ). Системы управления на основе бортовых цифровых вычислительных машин открывают новые возможности опти-

мизации и повышения точности управления, автоматизации процессов наземной подготовки ракет к запуску, использования современных методов при проектировании СУ и в целом повышения экономической эффективности средств выведения космических аппаратов.

С начала появления управляемых ракет успешность их полета в значительной степени зависела от способности систем управления обеспечивать устойчивость движения. Для создания системы, обеспечивающей устойчивость программного движения ракеты-носителя (РН), необходима математическая модель возмущенного движения, которая адекватно описывает динамические процессы с целью решения следующих задач: 1) проведение структурного и параметрического синтеза алгоритмов стабилизации, обеспечивающих техническую устойчивость; 2) проведение математического моделирования возмущенного движения для оценки влияния на точность стабилизации возмущающих факторов.

В последние годы в соответствии с федеральной космической программой в России ведутся интенсивные работы по созданию нового класса ракет-носителей большой грузоподъемности. К ним, прежде всего, относится ракета космического назначения (РКН) «Ангара А5», пробный пуск которой намечен на 2013 г., РН «Русь М», а также ряд носителей тяжелого класса повышенной грузоподъемности, предназначенных для выполнения полетов на Луну и Марс.

Отличительной особенностью таких объектов, усложняющей решение проблем динамики и стабилизации, является то, что они, как правило, имеют пакетную компоновку, а это приводит к необходимости считаться с существенным влиянием ряда следующих факторов: значительная степень собственной статической неустойчивости; наличие на борту колеблющихся компонентов топлива; упругость конструкции; жесткость подвески поворотных маршевых двигателей, используемых в качестве исполнительных органов; продольные колебания топлива в магистралях. Размерность динамической схемы, на основе которой разрабатывается СУ, может достигать до 100 и даже превышать указанное значение.

В связи с этим необходимо иметь алгоритмы, методологию и соответствующее программное обеспечение, позволяющие проводить структурный и параметрический

синтез алгоритмов стабилизации и анализ «чувствительности» замкнутой системы к разбросам параметров с учетом влияния всего многообразия перечисленных факторов. Наличие разного рода особенностей и обуславливает необходимость разработки специализированного проблемноориентированного программного комплекса математического моделирования динамики объектов данного типа, поскольку существующее универсальное математическое обеспечение при всем совершенстве не отражает этих особенностей и, кроме того, в силу универсальности является неудобным и трудозатратным в использовании разработчиками при решении задач обеспечения устойчивости.

В данной статье приводится пример исследования влияния динамических факторов на возможность выбора настроек алгоритма угловой стабилизации для РКН типа «Ангара А5».

### Общие положения

«Ангара» – семейство ракет-носителей модульного типа, включает в себя носители четырех классов – от легкого до тяжелого – в диапазоне грузоподъемностей от 2 (Ангара 1.1) до 24,5 (Ангара А5) тонн для вывода на низкую околоземную орбиту при старте с Плесецка. Ракета-носитель тяжелого класса «Ангара А5» – трехступенчатая РН пакетной компоновки (на первой ступени имеет пакетную связку из пяти унифицированных блоков с автономными системами питания двигательных установок), работающая на экологически чистых компонентах топлива нафтил и жидкий кислород.

Динамическая схема РКН как объекта регулирования – это математическая модель ее возмущенного движения в рабочей полосе частот автомата стабилизации (АС), представляющая собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений относительно обобщенных координат (независимые переменные, число которых равно числу учитываемых степеней свободы механической системы и которые однозначно определяют ее состояние). Под АС понимается трехканальная система управления (включающая кана-

лы тангажа, рыскания и крена), реализованная в составе бортовой аппаратуры системы управления. АС контролирует поведение РКН в полете с помощью измерительной системы, которая состоит из датчиков ускорений (акселерометров), установленных на гиросtabilизированной платформе (ГСП) в приборном отсеке центрального блока (ЦБ) и датчиков угловых скоростей (ДУС), установленных на корпусе ЦБ РКН.

Управляющие воздействия при движении РКН создаются путем отклонения качающихся частей двигателей центрального блока и 4-х боковых блоков (ББ). Двигатели каждого блока отклоняются с помощью двух электрогидравлических сервоприводов, установленных во взаимно-перпендикулярных плоскостях.

В матричном виде уравнения возмущенного движения ракеты в любом канале стабилизации записываются следующим образом

$$A\ddot{u} + B\dot{u} + C\bar{u} = D^a \bar{\delta}^a + D^e \bar{\delta}^e.$$

Матрицы  $A$ ,  $B$ ,  $C$  (матрицы масс, демпфирования, жесткости) и  $D$  в связи с расходом топлива и изменением параметров атмосферы изменяются по времени полета.

Ниже в развернутом виде представлен вектор состояния (36 переменных, определяющих динамику РН) для канала рыскания.

$$\bar{u} = (Z, \Psi, s_1, \dots, s_{14}, q_1, \dots, q_{15}, r_1, r_2, \delta_1, \delta_2, \delta_3).$$

Первые две переменные – смещение по оси  $Z$  и поворот вокруг оси  $\Psi$ ;

$s_1, \dots, s_{14}$  – координаты, характеризующие перемещение жидкости (12 основных и два дополнительных тона);

$q_1, \dots, q_{15}$  – 15 тонов упругих колебаний корпуса;

$r_1, r_2$  – два тона, характеризующих колебание жидкости в топливных магистралях;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$  – управляющие воздействия (соответственно поворот двигателей центрального блока, поворот двигателей боковых блоков и дополнительный поворот двигателей).

Программно-математическое обеспечение (ПМО) для анализа динамики сложных объектов. Для решения поставленных задач,

которые играют важную роль при проектировании системы стабилизации РКН, разработано соответствующее ПМО, в основу которого положен классический в теории управления метод  $D$ -разбиения [1, 2], позволяющий оценить разбросы настроек автомата угловой стабилизации, с выделением из всей области конкретного участка, обладающего устойчивостью. А также метод частотного анализа, где по выбранным из области устойчивости настройкам АС строится годограф Найквиста–Михайлова. Для информативности на экран выводятся частоты собственных колебаний системы (в радианах) и запасы устойчивости по фазе (в градусах).

Приведем пример работы данного комплекса.

Рассмотрим, каким образом с помощью разработанного ПМО можно усовершенствовать систему стабилизации, пользуясь известными методами устранения влияния различных динамических факторов на свойства исследуемого объекта [3].

На активном участке полета ракета проходит через плотные слои атмосферы, где особенно существенны аэродинамические силы, действующие на ее корпус. Решается задача обеспечения таких свойств замкнутой системы, состоящей из упругого корпуса, заполненного жидкостью, и системы стабилизации, чтобы возникшие колебания всегда затухали. Существует несколько способов решения данной проблемы. Об их достоинствах и недостатках узнаем ниже.

Алгоритм угловой стабилизации имеет следующую структуру

$$L_\Psi(z) = (K_\Psi + K_{\Psi 1} \cdot \frac{1-z^{-1}}{T_0}).$$

$L_\Psi(z)$  – оператор, описывающий алгоритм угловой стабилизации, основанный на отрицательной обратной связи по углу и угловой скорости. Выражение  $(1 - z^{-1}) / T_0$  представляет собой численное дифференцирование по времени с использованием первой разности. Коэффициенты  $K_\Psi$  и  $K_{\Psi 1}$  в связи с изменением свойств объекта регулирования по полету являются переменными, зависящими от времени.

### Область устойчивости в плоскости параметров автомата угловой стабилизации

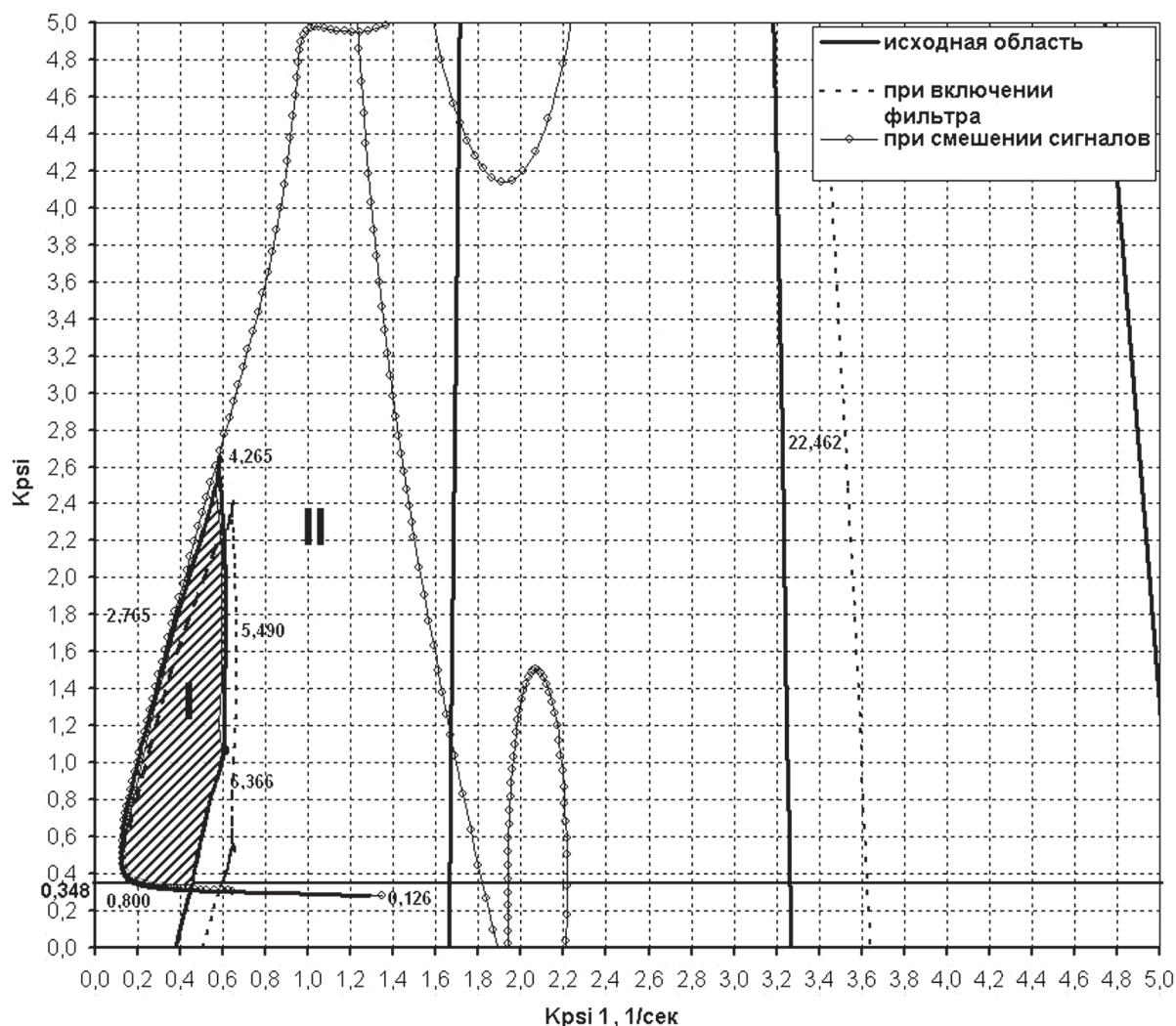


Рис. 1. Области  $D$ -разбиения для разных вариантов системы стабилизации

Сформируем исходную область, с которой будет вестись дальнейшее сравнение. Для этого сигнал считываем с ГСП, расположенной на «носу» нашего объекта. Данная область обозначена на рис. 1 как «I» и является областью устойчивости.

При проектировании любых систем существует ряд противоречивых требований, которым надо удовлетворять. Необходимо выбрать такие настройки АС, которые бы обеспечивали минимум двукратный запас, желательно по обоим коэффициентам (что не всегда удается получить на практике). Выбираем из области  $K_{\psi 1}=0,3$ ,  $K_{\psi}=0,7$ .

Здесь же следует отметить, что желательно иметь широкую область устойчивости с рабочей точкой, лежащей подальше от гра-

ниц (в разы), т.к. динамика в процессе полета меняется под действием внешних факторов, что сразу же отразится на размерах нашей области, плюс ко всему прочему математическая модель лишь приближена к реальности и могут проявиться другие, неучитываемые особенности объекта, а это другие степени свободы. Но следует отметить и тот факт, что при выборе коэффициентов АС необходимо учитывать, как они влияют на динамические свойства системы в целом. Например, для амплитудной стабилизации *упругих* колебаний (а ведь это только одна из особенностей такого рода объектов) уменьшают динамический коэффициент усиления, что несложно осуществить на больших частотах (на малых частотах, которые характерны для низших то-





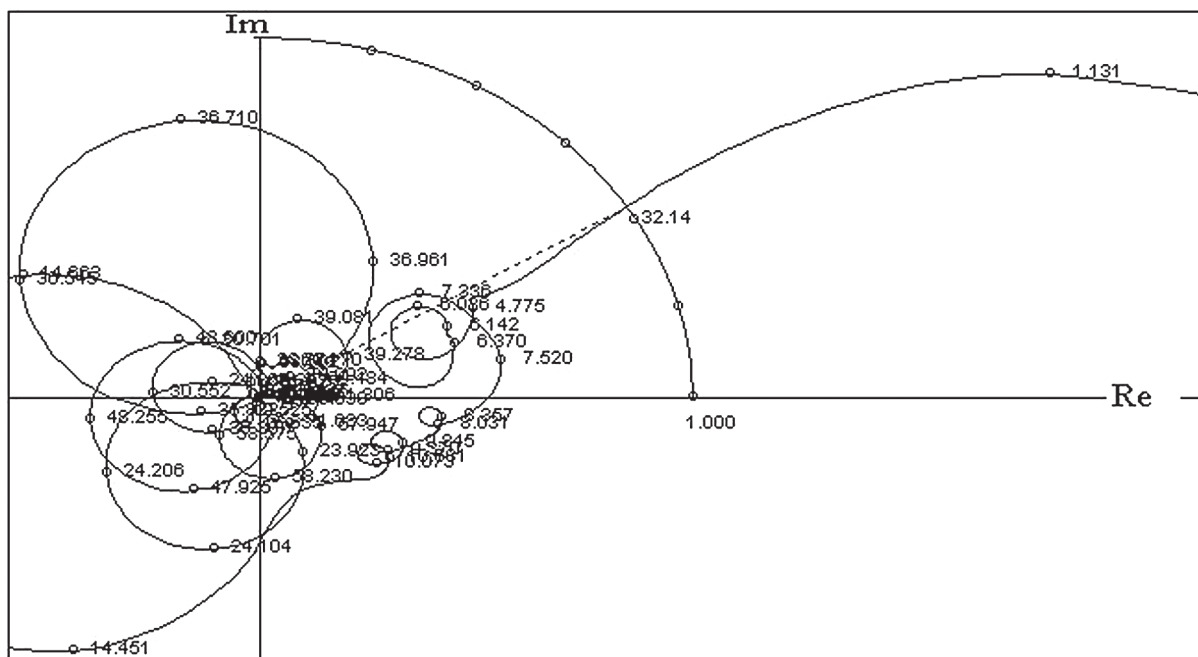


Рис. 4. Годограф Найквиста–Михайлова (со «смещением» сигналов).  $K_{\psi_1}=0,8$ ,  $K_{\psi}=1,1$

вости на этих частотах будет иметь «разрушающий» характер для конструкции и поэтому является недопустимым, но это только в том случае, если точка (1;0) будет охвачена.

Попробуем устранить возникшую опасность.

Как предлагалось выше, введем узкополосный фильтр (режекторный фильтр), который используют только для высоких частот, т.к. он оказывает влияние на первые тона, а именно, искажает низкие частоты. Передаточная функция его имеет вид (для подавления частот  $\approx 36$  радиан/сек, в конкретном примере)

$$W_f = \frac{p^2 + 7 \cdot p + 36^2}{p^2 + 36 \cdot p + 36^2}$$

Область устойчивости не сильно изменила вид по сравнению с предыдущим случаем (рис. 1, штриховая линия). Оставим те же настройки и посмотрим на годограф (рис. 3). Система по-прежнему устойчива, запасы не удовлетворяют минимальным требованиям, но введение фильтра оправдано его эффективностью – диаметр опасного «круга» уменьшился в пять раз. Этого мы и добивались. Но остался один момент – запасы по фазе.

Способ гашения упругих колебаний при помощи автомата угловой стабилизации

(пассивный метод, один из вариантов рассмотрен выше) не является единственным. Наиболее очевидное решение заключается в компенсации их другими колебаниями, имеющими ту же амплитуду и частоту, но противоположными по фазе. При активном методе датчики помещают в тех местах, где можно получить максимальные сигналы.

Используем «смещение» сигналов с ГСП и ДУС, расположенного в «хвосте» носителя. Тогда алгоритм стабилизации распадается на две составляющие, весовые коэффициенты к которым необходимо подобрать в соответствии с распределением сигналов, в нашем случае

$$L_{\psi}(z) = 0,4 \cdot L_{ГСП \psi_1}(z) + 0,6 \cdot L_{ДУС \psi_2}(z)$$

Построим область устойчивости. Как и следовало ожидать, произошли значительные изменения. Выберем из области «II» новые настройки. Пусть  $K_{\psi_1}=0,8$ ,  $K_{\psi}=1,1$ , теперь мы имеем трехкратные запасы в обоих направлениях, чего не наблюдалось до этого.

На рис. 4, где изображен годограф Найквиста–Михайлова для последнего случая, отметим, что запасы по фазе увеличились вдвое, что не может не радовать, этого мы добились путем выбора новых коэффициентов усиления, которые, в свою очередь,

мы смогли использовать благодаря расширению области устойчивости за счет смещения сигналов. Кроме того, диаметр «круга», соответствующего частотам  $\approx 35\text{--}37$  рад./сек, по-прежнему остался меньше единицы. И самое важное – система устойчива!

Конечно, последний случай по всем показателям лучше двух предыдущих, но и у него есть «слабое место». Дело в том, что сложность заключается в расположении ДУС в хвосте ракеты, что несет в себе помимо положительных сторон еще и помехи, вызываемые сильными вибрациями двигательной установки, а это действительно является проблемой при реализации этого метода.

Частотные характеристики (рис. 2–4) дали нам первый взгляд на процессы, проходящие внутри системы, это многообразие особенностей, которые несет в себе сложная архитектура РКТ. Для обеспечения устойчивости РКН во всем диапазоне частот необходимо учитывать влияние каждого динамического фактора и использовать подходящие методы борьбы с ними, при этом удовлетворяя требуемым запасам устойчивости и конструктивным особенностям объекта, при выборе настроек и проектировании самой системы стабилизации.

В заключение важно отметить следующий факт. Помимо рассмотренного ал-

горитма построения областей  $D$ -разбиения конкретно в плоскости параметров автомата угловой стабилизации, существующая методика позволяет определять соответствующие области устойчивости и частотные характеристики для любых других параметров как РН так и СУ, линейно входящих в характеристическое уравнение замкнутой системы (например, квадраты частот и коэффициенты демпфирования колебаний топлива в баках и упругих колебаний конструкции, постоянные времени линейной модели сервопривода и постоянные времени аналогового фильтра).

### Библиографический список

1. Альтшулер, А.Ш. Выбор расчетных случаев для исследования устойчивости и управляемости движения ракеты космического назначения на основе аналитических выражений для границ областей устойчивости и заданного качества управления / А.Ш. Альтшулер, В.Д. Володин // *Авиакосмическая техника и технология*, 2009. – № 2. – С. 3–9.
2. Бабин, А.В. Применение  $D$ -разбиения для структурного и параметрического синтеза алгоритмов стабилизации ракет-носителей тяжелого класса пакетной компоновки и анализа «чувствительности» системы к разбросам параметров / А.В. Бабин, В.А. Бужинский, А.И. Мытарев. // Тезисы докладов научных чтений, посвященных 90-летию со дня рождения Ю.А. Мозжорина – Королев: ЦНИИмаш, 2010. – С. 123–124.
3. Колесников, К.С. Динамика ракет / К.С. Колесников. – М.: Машиностроение, 2003. С. 214–218.

## ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ КОММУТАТОРЫ

М.Ю. АСЛАНИДИ, *асп. МИЭМ,*

В.П. ДМИТРИЕВ, *проф. каф. ВСиС МГИЭМ, д-р техн. наук*

*korolkov@mgul.ac.ru*

Существующие до настоящего времени ОЭП различного функционального назначения обеспечивались минимальным «нижним» уровнем интеграции полупроводниковой элементной базы [1].

Конструктивно такие ИС оформлялись, как правило, в стандартных корпусах транзисторного и микросхемного типов. Следующий этап развития ОЭП – интеграция «вширь» – предполагает увеличение числа коммутирующих каналов путем простого на-

рацивания количества элементов на общей изолирующей подложке. Дальнейший этап развития ОЭП – интеграция «вглубь», которая предполагает объединение оптопар и схем по монолитной технологии в одном кристалле полупроводника. Такая оптоэлектронная схема должна обрабатывать частично или полностью программу коммутации.

Преимуществом интеграции «вглубь» является уменьшение количества выводов интегральных многоканальных коммутато-

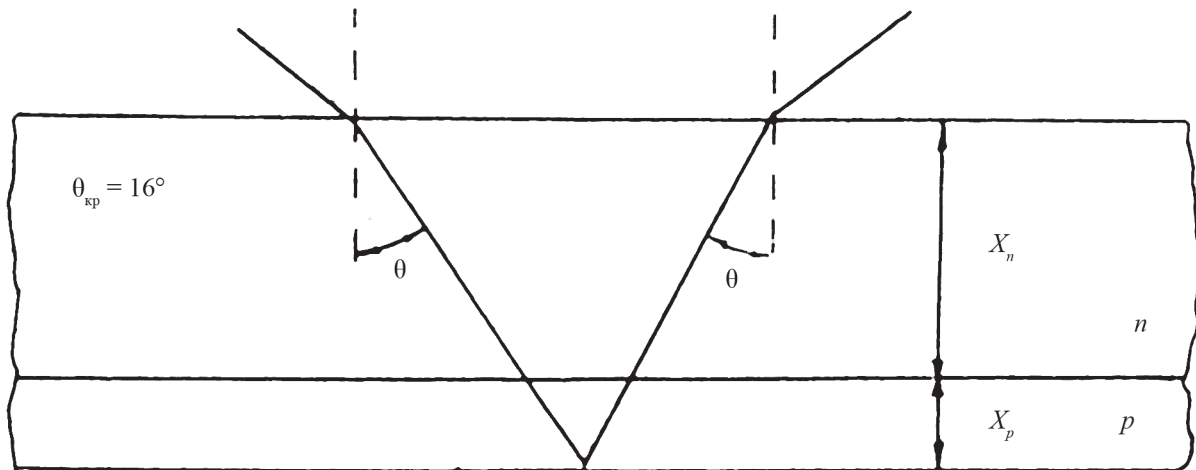


Рис. 1. Конструкция излучателей

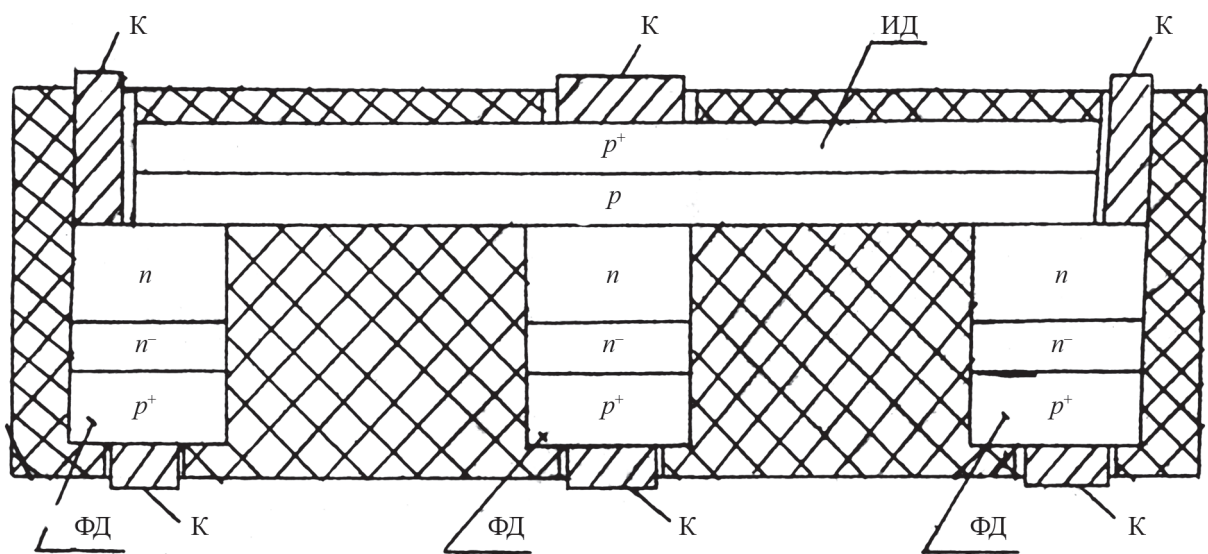


Рис. 2. Конструкция кристалла ОЭП

ров за счет использования последовательного кода при записи программы коммутации.

В настоящее время конструирование интегральных схем ОЭП находится на этапе гибридной совмещенной технологии. Это обусловлено тем, что общие принципы функционирования ОЭП не отличаются от тех принципов функционирования, которые положены в основу современных интегральных схем. Разработка же ОЭП по технологии полупроводниковых интегральных схем (излучатель, фотоприемник на одной подложке) сдерживается отсутствием промышленной технологии их изготовления, с одной стороны, а с другой – возникает проблема электрической изоляции между излучателем и фотоприемником и оптической «изоляции» между каналами в многоканальных ОЭП. Гибридная технология ОЭП сейчас наиболее

эффективно обеспечивает пространственное разделение каналов, когда для каждого канала используется своя подложка. Следует отметить и такой факт, что при конструировании излучателей и фотоприемников в многоканальных ОЭП на одной подложке возрастает влияние емкостных параметров между излучателями и фотоприемниками, в результате чего снижается быстродействие интегрального ОЭП, согласно формуле для постоянной времени

$$\tau = C_{\text{общ}} \cdot R_n, \quad (1)$$

где  $C_{\text{общ}}$  – общая (суммарная) емкость канала коммутации, ( $C_{\text{общ}} = C_{\text{разв.}} + C_{\text{пр.}}$ );

$R_n$  – сопротивление нагрузки внешней цепи.

В основу технологии изготовления оптоэлектронного интегрального коммутатора заложена уже освоенная серийно отечествен-

ной промышленностью технология кристалла светофотодиода [2]. Разница состоит лишь в том, что под областью излучателя должны находиться сразу одиннадцать фотодиодов. Структура кристалла разрабатываемой схемы ОЭКП, очевидно, должна состоять из трех основных элементов: излучателя, области изоляции и фотодиодов, расположенных изолированно друг относительно друга под излучателем и имеющим каждый электрически изолированные выводы (рис. 1).

Исходя из такого расположения областей можно сформулировать основные требования к ним [3].

Слои, образующие область излучателя, должны обеспечивать требования к мощности излучения, быстродействию, быть практически прозрачными для излучения в рабочем диапазоне длин волн ( $\lambda = 0,85, \dots, 0,95$  мкм). Область изоляции должна также быть практически прозрачна для излучения в рабочем диапазоне длин волн и обладать необходимым сопротивлением изоляции. Слои, образующие область фотоприемников, должны обеспечивать требования по чувствительности и быстродействию. Причем, макетам спектра излучения верхней излучающей области должен соответствовать максимум спектральной зависимости чувствительной области фотоприемника. В рассматриваемой структуре кристалла в качестве излучателя ИК-диапазона целесообразно использовать гетероструктуру на ос-

нове  $GaAs-Al_xGa_{1-x}As$ , которая характеризуется высоким квантовым выходом излучения, высоким быстродействием и кроме того, при соответствующем подборе состава и толщины эпитаксиальных слоев, может быть практически прозрачна для излучения в рабочем диапазоне длин волн. Область изоляции должна быть также выполнена на основе  $GaAs-Al_xGa_{1-x}As$  структуры. Причем, выбор состава и толщины области будет определять прозрачность, а толщина и удельное сопротивление (концентрация носителей) будет определять сопротивление изоляции области в целом.

В качестве фотоприемников могут быть также использованы гетеропереходы  $GaAs-Al_xGa_{1-x}As$ .

Таким образом, конструкция кристалла ОЭКП может быть реализована на многослойной эпитаксиальной структуре в системе  $GaAs-Al_xGa_{1-x}As$  на подложке  $GaAs$ .

#### Библиографический список

1. Горохов, В.А. Физические основы конструирования и схемотехники интегральных оптоэлектронных коммутаторов / В.А. Горохов // Электронная промышленность. – 1980. – № 1. – С. 23–31.
2. Горохов, В.А. Функциональная классификация и схемотехника интегральных оптоэлектронных коммутаторов / В.А. Горохов // Полупроводниковая электроника и техника связи. – М.: Связь, 1977. – Вып. 18. – С. 185–203.
3. Амброзьяк, А. Конструкция и технология полупроводниковых фотоэлектрических приборов / А. Амброзьяк. – М.: Сов. Радио, 1970.

## АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И НАКЛОНОМЕТРОВ ИЗ-ЗА НЕСТАБИЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ

Н.А. БЕДРО, инженер ОАО «НПО Геофизика-НВ»,

В.А. ЕСАКОВ, проф. каф. САУ МГУЛ, канд. техн. наук,

М.В. ИВЛЕВА, инженер-технолог ОАО «НПО Геофизика-НВ»,

М.Н. КОМАРОВА, инженер-технолог ОАО «НПО Геофизика-НВ»,

С.А. ГАМКРЕЛИДЗЕ, проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук

[caf-sau@mgul.ac.ru](mailto:caf-sau@mgul.ac.ru)

**Н**аклономер (инклинометр) – это прибор, определяющий угол между эталонной прямой (осью), лежащей в плоскости горизонта, и той прямой (осью), которая определя-

ет текущее положение прибора. В настоящее время существуют наклонометры с электрическим выходным сигналом, пропорциональным углу наклона датчика, которые имеют

высокую точность, небольшие размеры, отсутствие подвижных механических узлов.

Простота монтажа и разнообразие интерфейсов дает возможность использовать их не только на стационарных, но и на подвижных объектах в таких областях применения, как определение положения высотных сооружений, плотин, стволов шахт, платформ, определение величины прогибов и деформаций опор и балок мостовых и туннельных конструкций, контроль углов наклона автомобильных и железных дорог. Кроме того, решаются такие технически сложные вопросы, как определение крена транспортных средств на суше и на воде, также строительных и сельскохозяйственных машин. Инклинометры нашли свое применение в судостроении, в нефтедобывающей, перерабатывающей промышленности, в машиностроении, также в системах безопасности и сигнализации.

Коэффициенты чувствительности масштабных коэффициентов и смещение нуля к измерению напряжения питания можно определить путем измерения калибруемых параметров и построения аппроксимирующих функций в виде полиномов [1]

$$\Phi_{nj}(t) = \sum_{i=0}^n a_{ij} \cdot \varphi_i(t), \quad (1)$$

где  $a_{ij}$  – оцениваемые параметры модели погрешностей, являющиеся коэффициентами обобщенного многочлена  $\Phi_{nj}(t)$ ;  
 $i = 0 \dots n$ ;

$j = 1 \dots m$  – калибруемый параметр;

$m$  – количество калибруемых параметров.

В результате испытаний кремниевых чувствительных элементов с обратной связью установлено, что измерения их параметров от напряжения питания носят характер, близкий к линейному. Поэтому можно выбрать аппроксимирующую функцию в виде полинома первого порядка

$$\Phi_{1j}(t) = \sum_{i=0}^1 a_{ij} \cdot \varphi_i(t), \quad (2)$$

где  $j = 1 \dots m$

Необходимо вычисление коэффициентов  $a_{0j}$ ,  $a_{1j}$  для определения коэффициентов чувствительности.

При обработке зависимостей методом наименьших квадратов параметры модели определяются так, чтобы минимизировать среднеквадратическое отклонение

$$\delta_j = \sqrt{\frac{1}{p} \cdot \sum_{k=1}^p (\Phi_{nj}(U_{\pi k}) - \Phi_{1j}(U_{\pi k}))^2} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $\delta_j$  – среднеквадратическое отклонение  $j$ -го параметра;

$\Phi_{nj}(U_{\pi k})$  – значение оцениваемого параметра при фиксированном напряжении питания;

$\Phi_{1j}(U_{\pi k})$  – аппроксимирующая функция при фиксированном напряжении питания;

$U_{\pi k}$  – фиксированное значение напряжения питания ( $k = 1 \dots p$ , где  $p$  – количество измерений).

Минимум среднеквадратического отклонения достигается при тех же значениях  $a_{0j}$ ,  $a_{1j}$ , что и минимум функции

$$S_j = \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n (\Phi_{ij}(U_{\pi k}) - \Phi_{1j}(U_{\pi k}))^2 \quad (4)$$

причем

$$\delta_j^2 = \frac{1}{p} \cdot S_j, \quad j = 1 \div m.$$

Условие минимума функции  $S_j$  имеет вид

$$\frac{\partial S_j}{\partial a_{ij}} = 0 \quad (5)$$

$$i = 0, 1;$$

$$j = 1 \dots m.$$

Дифференцируя выражения (5) и проводя соответствующие преобразования, получим

$$a_{0j} = \frac{\frac{1}{p} \sum_{k=1}^p \Phi_{nj}(U_{\pi k}) \sum_{k=1}^p (U_{\pi k})^2 - \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p U_{\pi k} \sum_{k=1}^p \Phi_{nj}(U_{\pi k}) \cdot U_{\pi k}}{\sum_{k=1}^p (U_{\pi k})^2 - \frac{1}{p} \cdot (\sum_{k=1}^p U_{\pi k})^2}; \quad (6)$$

$$a_{1j} = \frac{\sum_{k=1}^p U_{\Pi k} \cdot \Phi_{nj}(U_{\Pi k}) \sum_{k=1}^p (U_{\Pi k})^2 - \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p U_{\Pi k} \sum_{k=1}^p \Phi_{nj}(U_{\Pi k})}{\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k})^2 - \frac{1}{p} \cdot \left(\sum_{k=1}^p U_{\Pi k}\right)^2}, \quad (7)$$

где  $k = 1 \dots p$ ;

$p$  – число измерений.

Полученные выражения (6) и (7) позволяют определить коэффициенты чувствительности идентифицируемых параметров от напряжения питания, то есть коэффициенты чувствительности наклономера.

Коэффициентами, зависящими от изменения напряжения питания данного инклинометра, являются  $K_A$  – масштабный коэффициент и  $U_{0A}$  – смещение нуля акселерометра.

Пусть погрешность в определении масштабного коэффициента чувствительного элемента и смещения нуля зависят только от изменения напряжения питания рассматриваемого прибора ( $\tau = \text{const}$ ).

Тогда на основании выражения (2) выберем аппроксимирующие функции в виде полиномов первого порядка

$$\Phi_{1j} = a_{0j} + a_{1j}(U_{\Pi} - U_{\Pi 0}),$$

где  $j$  – номер идентифицируемого параметра;

$U_{\Pi 0}$  – нормальное напряжение питания.

Зависимость масштабного коэффициента акселерометра при изменении напряжения питания запишется в виде

$$K_{Ai}(U_{\Pi}) = K_{Ai} + \delta K_{Ai}^{U_{\Pi}}(U_{\Pi} - U_{\Pi 0}), \quad (8)$$

где  $K_{Ai}$  – значение масштабного коэффициента акселерометра при нормальном напряжении питания  $U_{\Pi 0}$ ;

$\delta K_{Ai}^{U_{\Pi}}$  – коэффициент чувствительности акселерометра к изменению напряжения питания.

Зависимость напряжения смещения нуля акселерометра при изменении напряжения питания имеет вид

$$U_{0Ai}(U_{\Pi}, \phi) = U_{0Ai} + \delta U_{0Ai}^{U_{\Pi}}(U_{\Pi} - U_{\Pi 0}),$$

при  $\phi = \text{const}$ ;

$U_{\Pi Ai}$  – значение напряжения смещения нуля акселерометра при нормальном напряжении питания  $U_{\Pi 0}$ ;

$\delta U_{0Ai}^{U_{\Pi}}(U_{\Pi} - U_{\Pi 0})$  – коэффициент чувствительности к напряжению питания смещения нуля акселерометра.

Таким образом, зависимость масштабного коэффициента и смещение нуля при изменении напряжения питания для акселерометра запишутся в виде

$$K_{Ai}(U_{\Pi}) = K_{Ai} + \delta K_{Ai}^U(U_{\Pi} - U_{\Pi 0});$$

$$U_{0Ai}(U_{\Pi}) = U_{0Ai} + \delta U_{0Ai}^U(U_{\Pi} - U_{\Pi 0});$$

В соответствии с выражениями (6) и (7) выражения коэффициентов будут иметь вид

$$K_{Ai} = \frac{1}{p} \cdot \frac{\sum_{k=1}^p K_{Ak} \sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})^2 - \sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0}) \sum_{k=1}^p K_{Ak} \cdot (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})}{\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})\right)^2};$$

$$\delta K_{Ai}^U = \frac{\sum_{k=1}^p K_{Ak} (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0}) - \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0}) \sum_{k=1}^p K_{Ak}}{\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})\right)^2};$$

$$U_{0Ai} = \frac{1}{p} \cdot \frac{\sum_{k=1}^p U_{0Ak} \sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})^2 - \sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0}) \sum_{k=1}^p U_{0Ak} \cdot (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})}{\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})\right)^2};$$

$$\delta U_{0Ai}^U = \frac{\sum_{k=1}^p U_{0Ak} (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0}) - \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0}) \sum_{k=1}^p U_{0Ak}}{\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})^2 - \frac{1}{p} \left(\sum_{k=1}^p (U_{\Pi k} - U_{\Pi 0})\right)^2}.$$

**Инклинометр 048.10**

$M, \text{ м/с}^2$				$\sigma, \text{ м/с}^2$			
До компенсации		После компенсации		До компенсации		После компенсации	
$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$	$X$	$Y$
0,036358	0,04585	0,0396	0,049	0,005864	0,006158	0,00049	0,000894

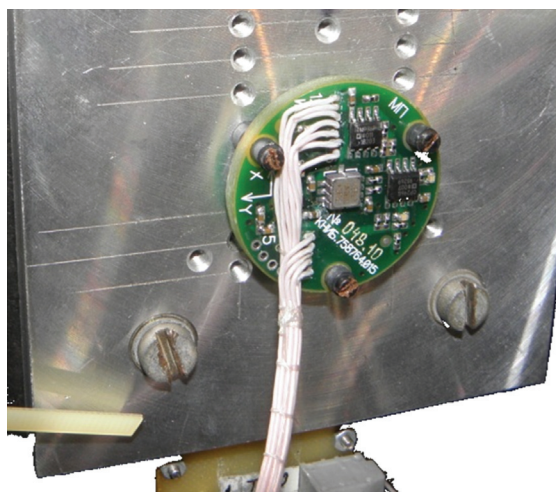


Рис. 1. Инклинометр № 048.10 на оснастке

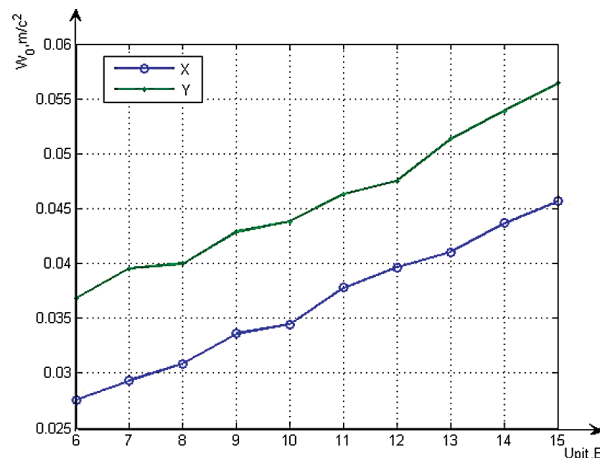
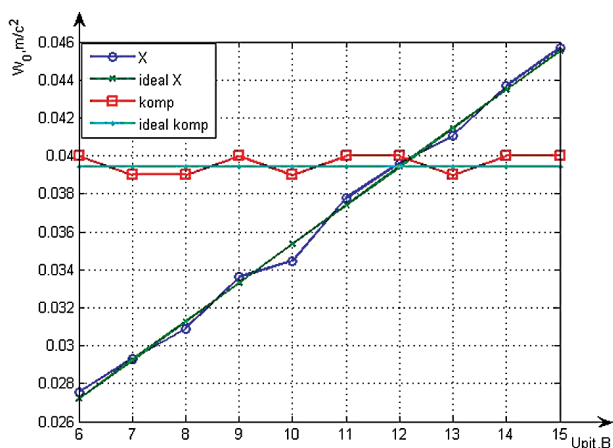
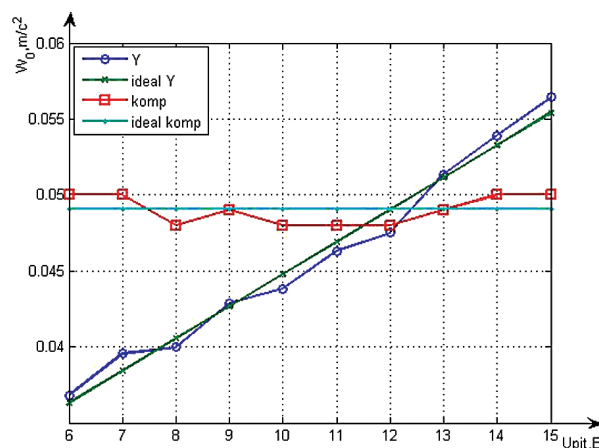


Рис. 2. Зависимость смещения нуля акселерометра от напряжения питания


 Рис. 3. Зависимость смещения нуля акселерометра от напряжения питания с компенсацией, ось  $X$ 

 Рис. 4. Зависимость смещения нуля акселерометра от напряжения питания с компенсацией, ось  $Y$ 

Проводилось исследование влияния напряжения питания на выходные характеристики инклинометра № 048.10.

Прибор, закрепленный на оснастке, поместили в термокамеру.

Исследования проводились с помощью программы «Считывание данных с таймером», в термокамере поддерживалась температура  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Изменяя напряжение питания от 6 В до 15 В с интервалом в 1 В, снимались выходные характеристики инклинометра поочередно по осям  $X$  и  $Y$ , которые

были установлены в горизонт. Результаты испытаний представлены в виде графиков. Как видно из графиков, зависимость ускорения от напряжения питания носит нелинейный характер.

Рассчитанные математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение приводятся в таблице.

Из исследований можно сделать вывод, что выходные характеристики инклинометра зависят от напряжения питания. После компенсации значения СКО по осям  $X$  и

У уменьшились на порядок. Это указывает на целесообразность компенсации. Компенсация позволяет уменьшить погрешность масштабных коэффициентов и погрешность смещения нулей акселерометров в составе наклономеров.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и на-

уки Российской Федерации в рамках государственного контракта от 13 сентября 2011 г. №16.523.12.3006.

### Библиографический список

1. Ачильдиев, В.М. Бесплатформенные инерциальные блоки на основе микромеханических датчиков угловой скорости и линейного ускорения / В.М. Ачильдиев. – М.: МГУЛ, 2007. – С. 117–122.

## ОСНОВА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ АТМОСФЕРНЫХ КАНАЛОВ

А.А. БОГДАНОВ, *асп. МИЭМ,*

В.П. ДМИТРИЕВ, *проф. каф. ВСиС МГИЭМ, д-р техн. наук*

*korolkov@mgul.ac.ru*

### Точность установки и наводки оптоэлектронного атмосферного канала

Для инсталляции оптоэлектронного атмосферного канала (ОАК) на объекте необходимо решить следующие технические вопросы:

1. Настроить взаимную параллельность оптических осей передатчика и приемника внутри каждого приемо-передающего модуля (ППМ).

2. Настроить взаимную параллельность оптических осей оптического прицела и передатчика на каждом ППМ.

3. Навести два ППМ друг на друга на реальной дистанции.

Оценим угол расхождения  $\alpha$  для инфракрасного (ИК) луча в установленном ППМ. Приемо-передающая оптическая система (ОС) состоит из двух ППМ. Схема комплекта ППМ представлена на рис. 1.

Из геометрической оптики известно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{F} \approx \alpha, \quad (1)$$

где  $b$  – размер кристалла излучающего диода (ИД);

$F$  – фокусное расстояние передающей линзы.

Рассчитаем диаметр пятна для параметров

$$b = 0,65 \text{ мм}; F = 400 \text{ мм}, L = 2000 \text{ м.}$$

$$\alpha = \frac{0,65}{400} = 1,62 \cdot 10^{-3} \text{ рад} = 5,6 \text{ угл. мин.}$$

Диаметр пятна определим из формулы

$$A = \frac{b}{F} \cdot L = \frac{0,65}{400} \cdot 2000 = 3,25 \text{ м.} \quad (2)$$

Световое пятно, расположенное на расстоянии  $L$  от передатчика в плоскости оптического фотоприемного устройства (ФПУ), показано на рис. 2.

Линза ФПУ диаметром  $D_{\text{л.пр}}$  должна располагаться в центре светового пятна. Определим требования к предельной угловой

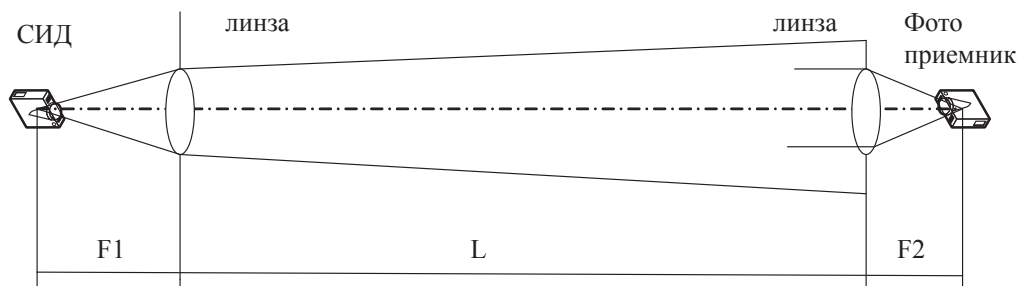


Рис. 1. Схема приемо-передающего устройства



ошибке настройки оптической оси при наводке двух ППМ по формуле

$$\Delta\Theta_{пред} = \frac{A}{2} \text{ угл. мин.} \quad (3)$$

Угол  $\Delta\Theta_{пред}$ , при котором сигнал исчезает, реально недопустим, поэтому необходимо установить допустимое ограничение на точность не более  $0,5\Delta\Theta_{пред}$ , т.е.

$$\Theta_{пред} \leq 1,4 \text{ угл. мин.} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ рад.}$$

Пересчитаем угловую величину в линейную по формуле

$$\delta \leq \frac{A}{4} = 0,8 \text{ м.} \quad (4)$$

### Разработка системы кодирования информации

Выбор системы кодирования информации зависит от взаимодействия всех подсистем между собой и позволяет корректировать настройки ОАК в зависимости от условий среды передачи. ОАК построен на основе ИК-излучения, что предъявляет к его работе следующие требования:

- стабилизировать работу в широком динамическом диапазоне, как по уровню сигнала, так и по ширине импульса;
- обеспечить однозначный прием логических примитивов;
- сигнализировать о потере «логического» канала.

Принятая система кодирования в ОАК использует последовательную систему кодирования информации, где биты данных передаются двумя символами – логическая «единица» и логический «ноль». Данные передаются блоками по 8 бит. Для кодирования символов логической «единицы» и «нуля» используется абсолютная фазовая модуляция. Из блоков формируются пакеты данных, использующиеся для дальнейшей передачи. Размер пакета составляет 205 байтов. Структура блока представлена на рис.3.

Весь блок разделен на девять участков. Длительность блока символов составляет 18 мкс. Участок 1 используется для передачи символа синхронизации, который обеспечивает синхронизацию аппаратуры декодера для надежного приема последующих символов информации. С участка 2 по участок 9 распо-

лагаются символы информации. Данные символы кодируют биты информации с младшего (0) по старший бит (7). Порядок передачи символами бит следующий: символ 2 передает 0 бит, символ 3 передает 1 бит и соответственно символ 9 передает последний, старший бит.

Символ разбит на три зоны. Зона 1 используется для кодирования логического «нуля», зона 3 используется для кодирования логической «единицы» и зона 2 используется для разделения зоны 1 от зоны 3.

Символы имеют длительность 2 мкс. Длительность зон 1 и 3 составляет 200 нс, а длительность зоны 2 составляет 400 нс. При передаче символа импульс может располагаться только в одной зоне – 1 или 3. Сквозность импульса составляет не меньше 10. Такой способ передачи логических битов позволяет определить момент потери связи. Отсутствие импульса позволяет аппаратуре

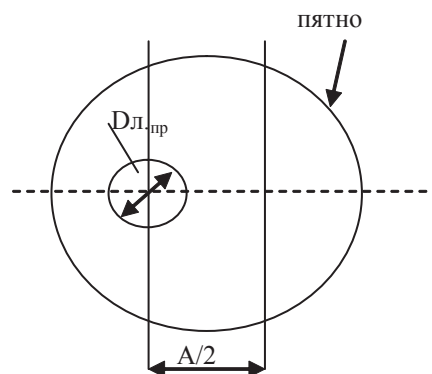


Рис. 2. Световое пятно

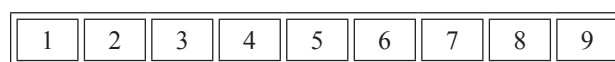


Рис. 3. Структура блока информации

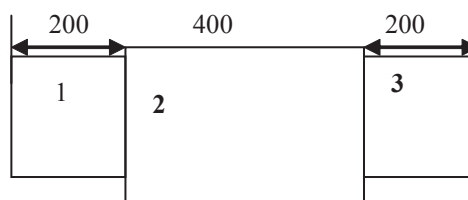


Рис. 4. Структура символа

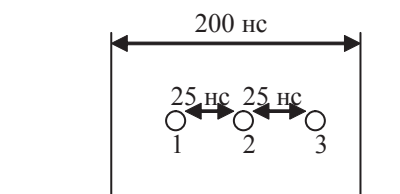


Рис. 5. Анализ импульса

декодера сигнализировать драйверу об ошибке в канале связи. Разделение логических «нуля» и «единицы» однозначно определяет, какой бит информации передает конкретный символ.

Для надежного приема импульса используется следующая методика. При получении синхронизирующего символа аппаратура декодера начинает вырабатывать последовательности, состоящие из трех импульсов. Пауза между импульсами имеет длительность 25 нс. При анализе импульса декодер фиксирует состояние приемного канала в этих трех временных точках. Если в двух точках есть активный уровень сигнала, то импульс получен, если активный уровень только в одной точке, то такой импульс отбраковывается. Анализ импульса представлен на рис. 5.

При точности установки и наводки ОАК основным требованием является не превышение значения угловой ошибки  $\Delta\Theta_{\text{пред}}$ . Для этого необходимо использовать дополнительные приборы и специальные инструменты.

## Вывод

Конструкция крепления должна быть достаточно жесткой, а исполнительные механизмы узлов перемещения должны обеспечивать точность настроек положения ППМ.

Использование выбранной схемы кодировки информации позволяет отделить импульсы, длительность которых составляет меньше 50 нс, а также позволяет сохранить работоспособность ОАК при колебании длительности импульса до 50 нс.

## Библиографический список

1. V. Vishnevsky. Status and Perspective of Computer Communication Networks Development in Russia // Proceedings of Bulgarian-Russian Seminar "Methods and Algorithms for Distributed Information Systems Design. Theory and Applications.", Sofia, Bulgaria, 1996-pp.9-29.
2. Гридин, В.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства / В.Н. Гридин, В.П. Дмитриев, А.К. Гребнев. – М.: Радио и связь, 1998.
3. Ли, Т.П. Нелинейность светодиодов с двойной гетероструктурой для систем оптической связи / Т.П. Ли. – ТИИЭР, 1977. – Т. 65. – № 9. – С. 216–217.

## ОЦЕНКА И МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА КАДРОВОГО СОСТАВА ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук,*

Е.Г. КОМАРОВ, *доц. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ, канд. техн. наук*

*olga.m.pol@yandex.ru*

В перечне приоритетных направлений развития России образование занимало и занимает особое место. Согласно Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации (Концепция-2020: развитие образования), утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. (№ 1662-р), стратегической целью государственной политики в области образования является повышение доступности качественного образования в соответствии с требованиями инновационного развития экономики и современными потребностями общества. Оценка качества образования невозможна без оценки и мони-

торинга качества кадрового состава учебных заведений [1–2].

В настоящее время профессиональная деятельность кадрового состава учебных подразделений вузов протекает в сложных экономических условиях. Налицо расхождение между уровнем профессиональной подготовленности кадрового состава и соответствующего ему профессионального статуса и реальными возможностями, которые предоставляет обществу этому составу. Помимо относительно невысокого материального статуса присутствует элемент социальной уравниловки, а попытки введения градаций наталкиваются не только на частную проблему низкой объективности оце-

нок и отсутствие формальных механизмов их объективного получения, но и на несовершенство научно-методического обеспечения этого процесса в целом. Изучению проблемы оценки и мониторинга кадрового потенциала высших учебных заведений посвящен ряд работ [3–7]. Однако, несмотря на большой научный интерес к этой проблеме, многие аспекты не изучены глубоко и системно, а ряд понятий и характеристик даже не формализованы.

Поэтому особенно актуален системный подход к оценке и мониторингу деятельности кадрового состава учебных подразделений, охватывающих не только учебную, но и научную, методическую и общественную составляющие его труда.

Создание такой системы направлено на решение задач «Концепция-2020: развитие образования», состоящих в создании системы внешней независимой сертификации, присвоения профессиональных квалификаций и развитии системы подготовки, переподготовки и повышения квалификации научно-педагогических, педагогических и управленческих кадров для всех уровней системы образования, включая стимулирование притока в сферу образования молодых кадров.

Развитие и совершенствование научно-методической базы для оценки и мониторинга качества кадрового состава высших учебных заведений повысит деловую активность и творческий рост, что в итоге направлено на повышение престижа вуза и качества обучения в нем.

Решение поставленной проблемы невозможно без разработки новейших методов получения и обработки информации, направленных на снижение субъективизма, возможности учета слабо формализованных характеристик, устойчивости результатов и окончательных выводов [7–9, 12–15].

Следует отметить основные задачи, которые необходимо решить:

- разработка и совершенствование системы критериев и показателей для оценки и мониторинга кадрового состава учебных подразделений вузов;
- научное обоснование принципов ее построения;

- выявление существенных показателей, оказывающих влияние на качество образовательного процесса в целом;

- разработка модели и методики для оценки качества кадрового состава;

- разработка модели и методики для кластеризации кадрового состава и присвоения квалификационных уровней; построение модели оптимального кадрового состава учебных подразделений вузов;

- разработка принципов и механизмов проведения сравнительного анализа существующего и оптимального кадровых составов;

- поддержка принятия решений, направленных на повышение деловой активности кадрового состава вузов и его творческого роста;

- построение модели и методики проведения мониторинга качества кадрового состава учебных подразделений вузов;

- разработка модели проведения сравнительного анализа качества кадрового состава разных вузов;

- реализация разработанных принципов, механизмов моделей и методик в программных средствах.

Для решения поставленных задач предлагается использовать методы математической статистики, теории нечетких множеств, нечеткой логики, фаззистики (теории, сочетающей элементы математической статистики и теории нечетких множеств), нечеткого анализа данных и поддержки принятия решений [10, 11, 16–18].

Разработка системы оценки и мониторинга качества кадрового состава высших учебных заведений может быть логично разбита на четыре этапа.

Первый этап представляет собой разработку и совершенствование научно-методического подхода к построению системы критериев и показателей.

Результатами этого этапа являются:

1. Модель выявления критериев и показателей, оказывающих существенное влияние на качество образовательного процесса, а также научное обоснование принципов ее построения.

2. Система критериев и показателей для оценки качества кадрового состава

учебных подразделений вузов, мониторинга профессионального роста этого состава и соответствия современным требованиям к качеству образовательных услуг.

3. Методики составления документации (тесты, опросники, анкеты и т. д.) и подбора экспертных групп для объективной оценки и мониторинга качества кадрового состава.

4. Программные средства, реализующие разработанные методики и модель.

Второй этап исследований предполагает разработку моделей и методик для оценки качества кадрового состава учебных подразделений вузов.

Результатами второго этапа являются:

1. Модель и методика для оценки качества кадрового состава и получения числовых показателей его уровня по ряду характеристик.

2. Модель и методика кластеризации кадрового состава по ряду характеристик.

3. Модель и методика присвоения кадровому составу квалификационных уровней.

4. Программные средства, реализующие разработанные модели и методики.

Третий этап исследований осуществляет построение оптимального кадрового состава учебных подразделений вузов и поддержку принятия решений, направленных на сближение реального и оптимального кадровых составов.

Результатами третьего этапа являются:

1. Модель оптимального кадрового состава учебных подразделений вузов.

2. Модель и методика сравнительного анализа реального и оптимального кадровых составов учебных подразделений вузов.

3. Поддержка принятия решений, направленных на сближение реального и оптимального кадровых составов.

4. Программные средства, реализующие разработанные модели и методику.

Четвертый этап исследований осуществляет мониторинг качества кадрового состава учебных подразделений вузов.

Результатами четвертого этапа являются:

1. Система критериев и показателей, необходимых для проведения мониторинга.

2. Модель и методика проведения мониторинга качества кадрового состава.

3. Модель и методика сравнительного анализа качества кадрового состава учебных подразделений разных вузов.

4. Программные средства, реализующие разработанные модели и методику.

Результаты решения поставленной проблемы, способствуют повышению деловой активности кадрового потенциала вуза и его творческому росту, что в итоге формирует кадровый состав, обеспечивающий высокое качество образовательного процесса в целом. Полученные результаты предполагается использовать для построения системы поддержки карьерного и творческого роста сотрудников, а также системы поощрений на основе объективного и разностороннего оценивания их достижений.

### **Заключение**

Особенностью статьи является формализованный подход к построению системы оценки и мониторинга качества кадрового состава учебных подразделений вузов, охватывающей различные составляющие его труда.

Многие характеристики качества образования в целом являются трудно формализуемыми и в связи с этим не могут быть заданы четко. Само понятие «качество» является нечетким, поскольку не имеет физических (числовых) значений, как, например, численность обучающихся, количество аудиторий и компьютерных классов.

Применяя для оценки нечетких понятий только традиционные методы, приходится мириться с тем, что адекватно отражаются лишь отдельные виды данных и безвозвратно теряются другие по причине невозможности их формализации. Как следствие, приходится мириться с упрощенными моделями действительности и излишне жесткими требованиями к ее описанию. Все вместе это приводит к значительному уменьшению ценности полученных результатов, к тому же нередко приводящим к неверным выводам и решениям. Поэтому для построения системы оценки и мониторинга качества кадрового состава вузов предлагается использовать современный

аппарат обработки информации, анализа данных и принятия решений с учетом нечетко определенных понятий.

### Библиографический список

1. Приказ Минобрразования России от 30.09.2005 N 1938 «Об утверждении показателей деятельности и критериев государственной аккредитации высших учебных заведений» (ред. от 25.04.2008). [www.garant.ru](http://www.garant.ru).
2. Распоряжение Минобрразования России от 08.01.2003 N 6-24 «О штатах профессорско-преподавательского состава учреждений высшего и среднего профессионального образования». [www.garant.ru](http://www.garant.ru). Читайте далее <http://www.hr-portal.ru/article/metodika-otsenki-kadrovogo-sostava-vysshih-uchebnykh-zavedenii>
3. Алексеева, Л.П. Проблемы кадрового потенциала вузов и некоторые пути их решения / Л.П. Алексеева. – М.: НИИВО, 2005. – 44 с.
4. Басалаева, О.Г. Проблемы внедрения рейтинговой системы оценки деятельности преподавателей / О.Г. Басалаева // Университетское управление: практика и анализ. – 2006. – № 2. – С. 65–68.
5. Бедный, Б. Диагностика потенциала подготовки научных кадров вуза // Высшее образование в России / Б. Бедный и др. – 2003. – № 4. – С. 3–14.
6. Геворкян, Е. Кадры высшей школы: актуальное состояние / Е. Геворкян // Высшее образование в России. – 2006. – № 9. – С. 23–31.
7. Лазарев, В.Н. Управление конкурентоспособностью персонала высшего учебного заведения / В.Н. Лазарев, Е.В. Пирогова – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 204 с.
8. Домрачев, В.Г. Мониторинг функционирования объектов на основе нечеткого описания их состояний / В.Г. Домрачев, Е.Г. Комаров, О.М. Полещук // Информационные технологии. – 2007. – № 11. – С. 46–52.
9. Комаров, Е.Г. Мониторинг компетентности обучающихся с использованием лингвистических переменных / Е.Г. Комаров, О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2008. – № 4 (61). – С. 160–164.
10. Полещук, О.М. Определение рейтинговых оценок объектов с качественными характеристиками и их использование в задачах принятия решений / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 6 (69). – С. 18–19.
11. Домрачев, В.Г. Комплекс работ по созданию научной базы для разработки образовательных информационных технологий в среде с неопределенными данными / В.Г. Домрачев, Е.Г. Комаров, О.М. Полещук, В.Г. Санаев // Отраслевая система ЦНИТ: 20 лет на ИТ-рынке России: сб. статей. – Кемерово, 2011. – С. 200–204.
12. B. Ranjit. An application of fuzzy set in students' evaluation // Fuzzy Sets and Systems. – 1995. – vol. 74. – Pp. 187–194.13. R. Biswas. An application of fuzzy sets in student's evaluation // Fuzzy Set and systems. – 1995. – vol. 74. – Pp. 194–197.
13. R. Biswas. An application of fuzzy sets in student's evaluation // Fuzzy Set and systems. – 1995. - vol. 74. – Pp. 194–197.
14. G. Capaldo, G. Zollo. Applying fuzzy logic to personnel assessment: A case study // Omega The International Journal. – 2001. – № 29. – Pp. 585–597.
15. O. Kosheleva, M. Ceberio. Processing Educational Data: From Traditional Statistical Techniques to an Appropriate Combination of Probabilistic, Interval, and Fuzzy Approaches (2005). Departmental Technical Reports (CS). Paper 254. [http://digitalcommons.utep.edu/cs\\_techrep/254](http://digitalcommons.utep.edu/cs_techrep/254).
16. O. Kosheleva, V. Kreinovich. What is the Best Way to Distribute Efforts Among Students: Towards Quantitative Approach to Human Cognition // Proceedings of the 28th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society, ISBN: 978-1-4244-4577-6, NAFIPS'2009, Cincinnati, Ohio, June 14–17, 2009.
17. O.Poleshchuk, E.Komarov Hybrid fuzzy least-squares regression model for qualitative characteristics // Advances in Intelligent and Soft Computing. – Springer-Verlag. 2010. – Vol. 68. – Pp. 187–196.
18. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 pp.

## ПОСТРОЕНИЕ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. каф. высшей математики МГУЛ, д-р техн. наук*

*olga.m.pol@yandex.ru*

Задача построения устойчивых и надежных групповых экспертных оценок не является новой, но актуальность ее решения не утрачена, поскольку одновременно с созданием

новых, более сложных технических систем, усложняются процедуры проведения их экспертиз и ответственность экспертов за решения и подходы. Достаточно часто экспертные

оценки являются единственным средством оценки качественных показателей сложных технических систем из-за отсутствия надежных математических моделей, достоверной статистической информации и ряда других причин. Возможность использования экспертами балльных оценок давно критикуется, поскольку окончательные результаты не всегда обладают устойчивостью, а сами оценки являются слишком грубыми и не могут передать особенности индивидуального процесса оценивания [1–4, 6]. В [5] справедливо отмечается, что «количественные или балльные оценки нередко скрывают неумение квалифицированно, на научной основе оценивать те или иные состояния, явления, пути развития ситуации. Очень часто выбор групповых решений на основе оценок отдельных экспертов проводится без анализа правомерности получения такого решения. Кроме того, в большинстве методик экспертных опросов не уделяется достаточного внимания обоснованию выбранной схемы интегрирования оценок, полученных на основе использования нескольких критериев, по которым ведется оценка состояния исследуемого объекта».

Таким образом, возникает необходимость в разработке модели построения групповой экспертной оценки, позволяющей максимально учесть информацию, полученную от каждого эксперта, контролируя при этом согласованность этой информации, повысить эффективность процедуры экспертного оценивания, надежность полученного результата, устойчивость окончательных выводов и адекватность управляющих воздействий.

В настоящей работе не будет рассматриваться задача определения шкал для оценки качественных характеристик, которая является нетривиальной и заслуживает отдельного внимания. Будем предполагать, что для оценки некоторой характеристики  $X$  на отрезке  $[0, 1]$  используется шкала с уровнями (термами)  $X_l, l = 1, m$ . Эта порядковая шкала может быть вербально-числовой или числовой. Ноль соответствует полному отсутствию проявления характеристики  $X$ , единичная точка соответствует полному присутствию проявления характеристики  $X$ .

Модели экспертных оценок характеристики  $X$  предлагается построить в виде лингвистических переменных. Лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где  $X$  – название переменной;  $T(X)$  – термы переменной  $X$ , то есть множество названий значений переменной  $X$ . Каждое из этих значений – нечеткая переменная со значением из универсального множества  $U$ .  $V$  – синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной  $X$ .  $S$  – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной из  $T(X)$  нечеткое подмножество множества  $U$ .

Каждому из  $k$  экспертов предлагается на отрезке  $[0, 1]$  отметить промежутки, которые они считают типичными для каждого из термов  $X_l, l = 1, m$ . Предположим, что  $i$ -м экспертом определены типичные для термов  $X_l, l = 1, m$  интервалы  $(x_{il}^1, x_{il}^2), l = 1, m, i = 1, k$ , то есть интервалы, для которых степень уверенности эксперта в их принадлежности к соответствующим термам равна единице (и для которых функции принадлежности соответствующих термов  $\mu_{il}(x), l = 1, m, i = 1, k$  равны единице). Для одних термов типичными могут быть интервалы, для других термов типичными могут быть точки (по одной для каждого терма). Тогда

$$\mu_{i1}(x) \equiv \left( 0, x_{i1}^2, 0, \frac{x_{i2}^1 - x_{i1}^2}{2} \right),$$

$$\mu_{il}(x) \equiv \left( x_{il}^1, x_{il}^2, \frac{x_{il}^1 - x_{i,l-1}^2}{2}, \frac{x_{i,l+1}^1 - x_{il}^2}{2} \right), l = \overline{2, m-1},$$

$$\mu_{im}(x) \equiv \left( x_{im}^1, 1, \frac{x_{im}^1 - x_{i,m-1}^2}{2}, 0 \right), i = \overline{1, k}.$$

Первыми двумя параметрами функций принадлежности являются абсциссы границ верхних оснований трапеций, которые являются графиками функций, а последние два параметра являются длинами соответственно левого и правого крыльев трапеций.

Пусть  $X_i = \{\mu_{il}(x), l = 1, m\}, i = 1, k$  – модели экспертных оценок характеристики  $X$ ,

$$\mu_{il}(x) \equiv (a_1^{il}, a_2^{il}, a_L^{il}, a_R^{il}), i = \overline{1, k}.$$

Обозначим за  $\overline{X} = \{f_l(x), l = \overline{1, m}\}$ ,  $f_l(x) = (a_1^l, a_2^l, a_L^l, a_R^l), l = \overline{1, m}$  – модель групповой экспертной оценки характеристики  $X$ .

Определим потерю информации между групповой экспертной оценкой

$$X = \{f_l(x), l = \overline{1, m}\}$$

и оценкой  $i$ -го эксперта

$$X_i = \{\mu_{il}(x), l = \overline{1, m}\}, i = \overline{1, k}$$

$$d(X_i, X) = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^m \int_0^1 |\mu_{il}(x) - f_l(x)| dx.$$

Потерей информации при построении групповой экспертной оценки назовем среднее значение потерь информации между всеми экспертными оценками и групповой экспертной оценкой

$$\sigma = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k d(X_i, X), i = \overline{1, k}.$$

Введем новые параметры функций принадлежности индивидуальных и групповой экспертных оценок, которые являются абсциссами точек изломов их графиков

$$a_{i11} = a_1^{il} - a_L^{il}, a_{i12} = a_1^{il}, a_{i13} = a_2^{il}, a_{i14} = a_2^{il} + a_R^{il}, \\ a_{i21} = a_1^l - a_L^l, a_{i22} = a_1^l, a_{i23} = a_2^l, a_{i24} = a_2^l + a_R^l$$

Так как  $a_{i11} = 0, a_{i12} = 0, i = \overline{1, k}$ , то полагается  $a_{11} = 0, a_{12} = 0$ . Так как  $a_{i23} = 1, a_{i24} = 1, i = \overline{1, k}$ , то полагается  $a_{m3} = 1, a_{m4} = 1$ .

Потерей информации в рамках границ  $l$ -го и  $l + 1$ -го термов между групповой экспертной оценкой и оценкой  $i$ -го эксперта будем называть полусумму интеграла от модуля разности соответствующих правых границ функций принадлежности  $l$ -го терма групповой экспертной оценки и оценки  $i$ -го эксперта и интеграла от модуля разности соответствующих левых границ функций принадлежности  $l + 1$ -го терма групповой экспертной оценки и оценки  $i$ -го эксперта.

Рассмотрим различные случаи расположения границ функций принадлежности соседних термов оценки  $i$ -го эксперта и границ функций принадлежности этих же тер-

мов групповой оценки. В зависимости от расположения границ функций принадлежности найдем потери информации.

Если  $a_{l3} > a_{il3}, a_{l4} > a_{il4}$ , то потеря информации в рамках границ  $l$ -го и  $l + 1$ -го термов равна площади трапеции с основаниями  $a_{l3} - a_{il3}, a_{l4} - a_{il4}$  и единичной высотой, то есть

$$1/2(a_{l3} - a_{il3} + a_{l4} - a_{il4}).$$

Если  $a_{l3} < a_{il3}, a_{l4} < a_{il4}$ , то потеря информации на границе  $l$ -го и  $l + 1$ -го термов равна площади трапеции с основаниями  $a_{il3} - a_{l3}, a_{il4} - a_{l4}$  и единичной высотой, то есть

$$1/2(-a_{l3} + a_{il3} - a_{l4} + a_{il4}).$$

Если  $a_{l3} \leq a_{il3}, a_{l4} \leq a_{il4}$ , то потеря информации в рамках границ  $l$ -го и  $l + 1$ -го термов равна сумме площадей двух треугольников.

Один треугольник имеет основание  $a_{il3} - a_{l3}$ , другой треугольник тоже имеет основание  $a_{il4} - a_{l4}$ . Найдем высоты этих треугольников.

Так как треугольники с основаниями  $a_{il3} - a_{l3}$  и  $a_{il4} - a_{l4}$  подобны, то имеем

$$\begin{cases} h_1 = \frac{a_{il3} - a_{l3}}{a_{il4} - a_{l4}}, \\ h_2 = \frac{a_{il4} - a_{l4}}{a_{il4} - a_{l4}}, \\ h_1 + h_2 = 1 \end{cases}$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – высоты соответствующих треугольников.

Откуда получаем, что высота треугольников с основанием  $a_{il3} - a_{l3}$  равна

$$h_1 = \frac{(a_{il3}a_{l4} - a_{il3}a_{l3} - a_{l3}a_{il4} + a_{l3}a_{il3} - a_{l3}a_{l4} + a_{l3}^2 + a_{l3}a_{il4} - a_{l3}a_{il3})}{(a_{l4} - a_{l3})(a_{l4} - a_{l3} - a_{il4} + a_{il3})} = \\ = \frac{a_{il3} - a_{l3}}{a_{l4} - a_{l3} - a_{il4} + a_{il3}}.$$

Высота треугольников с основанием  $a_{il4} - a_{l4}$  равна

$$h_2 = 1 - \frac{a_{il3} - a_{l3}}{a_{l4} - a_{l3} - a_{il4} + a_{il3}} = \frac{a_{l4} - a_{il4}}{a_{l4} - a_{l3} - a_{il4} + a_{il3}}.$$

В этом случае потеря информации равна

$$\frac{(a_{l3} - a_{l3})^2 + (a_{l4} - a_{l4})^2}{2(a_{l4} - a_{l4} + a_{l3} - a_{l3})}.$$

Если  $a_{l3} > a_{l3}$ ,  $a_{l4} < a_{l4}$ , то потеря информации равна

$$-\frac{(a_{l3} - a_{il3})^2 + (a_{l4} - a_{il4})^2}{2(a_{l4} - a_{il4} + a_{il3} - a_{l3})}$$

Таким образом, общая потеря информации равна

$$\sigma = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^{m-1} \sum_{i=1}^k \left[ \frac{1}{2} \delta_{il}^1 (a_{l3} - a_{il3} + a_{l4} - a_{il4}) + \delta_{il}^2 \left( \frac{(a_{l3} - a_{il3})^2 + (a_{l4} - a_{il4})^2}{2(a_{l4} - a_{il4} + a_{il3} - a_{l3})} \right) \right]$$

$$\delta_{il}^1 = \begin{cases} 1, & a_{l3} \geq a_{il3}, a_{l4} \geq a_{il4} \\ -1, & a_{l3} \leq a_{il3}, a_{l4} \leq a_{il4}; \\ 0, & a_{l3} > a_{il3}, a_{l4} < a_{il4} \\ \text{или } a_{l3} < a_{il3}, a_{l4} > a_{il4} \end{cases}$$

$$\delta_{il}^2 = \begin{cases} 1, & a_{l3} < a_{il3}, a_{l4} > a_{il4} \\ -1, & a_{l3} > a_{il3}, a_{l4} < a_{il4} \\ 0, & a_{l3} \geq a_{il3}, a_{l4} \geq a_{il4} \\ \text{или } a_{l3} \leq a_{il3}, a_{l4} \leq a_{il4}. \end{cases}$$

Неизвестные параметры

$$a_{l3}, a_{l4}, l = 1, m-1$$

являются решениями оптимизационной задачи

$$\sigma = \frac{1}{2k} \sum_{l=1}^{m-1} \sum_{i=1}^k \left[ \delta_{il}^1 (a_{l3} - a_{il3} + a_{l4} - a_{il4}) + \delta_{il}^2 \left( \frac{(a_{l3} - a_{il3})^2 + (a_{l4} - a_{il4})^2}{a_{l4} - a_{il4} + a_{il3} - a_{l3}} \right) \right] \rightarrow \min.$$

Решения находятся в рамках известных методов [7].

Построенная модель групповой экспертной оценки качественной характеристики сохраняет максимум информации, заложенной в индивидуальных экспертных оценках. Согласованность индивидуальных экспертных оценок предлагается проверять, используя показатель, приведенный ниже

$$\kappa = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) dx}{\int_0^1 \max(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) dx}$$

Этот показатель меняется от нуля до единицы, и чем он ближе к единице, тем более согласованы индивидуальные экспертные оценки.

### Заключение

Оценка качественных показателей сложных технических систем всегда являлась нетривиальной задачей, поскольку в большинстве случаев это связано с привлечением экспертов. Необходимо не только получить от них информацию, но и обработать ее, сохранив по максимуму уникальный индивидуальный опыт и знания. Методы теории экспертного оценивания стали давать сбой с тех пор, как существенно усложнились процедуры оценивания, возросла цена ошибки и соответственно ответственность эксперта за оценку как в индивидуальном плане, так и в плане коллективного решения. В статье на основе понятия лингвистической переменной предлагается подход к определению групповой экспертной оценки, которая сохраняет максимум информации, полученной от экспертов.

### Библиографический список

1. Бешелев, С.Д. Математико-статистические методы экспертных оценок. Изд. 2-ое. / С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
2. Литвак, Б.Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б.Г. Литвак. – М.: Патент, 1996. – 271 с.
3. Полещук, О.М. Математическая модель обработки экспертных оценок / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 6 (42). – С. 161–164.
4. Домрачев, В.Г. Мониторинг функционирования объектов на основе нечеткого описания их состояний / В.Г. Домрачев, Е.Г. Комаров, О.М. Полещук // Информационные технологии. – 2007. – № 11. – С. 46–52.
5. Акимов, В.А. Надежность технических систем и техногенный риск / В.А. Акимов, В.Л. Лапин и др.. – М.: Деловой экспресс, 2002. – 386 с.
6. O.Polshchuk The determination of students' fuzzy rating points and qualification levels // International Journal of Industrial and Systems Engineering, 2011, vol. 9, № 1, pp. 3–20.
7. Coleman T.F., Li Y. A reflective newton method for minimizing a quadratic function subject to bounds on some of the variables // SIAM J. Optim. – 1996. – V. 6. – № 4. – P. 1040 – 1058.



## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОЦЕНКУ МАССЫ В СИСТЕМАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРАХ

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. ЭМТ МГУЛ, д-р техн. наук,*  
А.А. СКРИПНИК, *асп. каф. ЭМТ МГУЛ*

*domrachev@mgul.ac.ru*

Автоматизированные системы управления технологическими процессами на нефтебазах выполняют функции коммерческого учета нефтепродуктов. Для составления товарного баланса необходимо иметь доступ к оперативной информации о текущих запасах. В нефтяной промышленности принято вести учет количества нефтепродуктов в единицах массы. Это обусловлено тем, что объем нефтепродукта – величина, сильно зависящая от температуры. На сегодняшний день данная задача решается методом косвенных статических измерений массы. К измеряемым параметрам относятся уровень заполнения резервуара, плотность и температура жидкости. Основываясь на информации о градуировочной характеристике резервуара, рассчитывают занимаемый жидкостью объем. С помощью погружных датчиков измеряют плотность нефтепродукта. Для горизонтальных резервуаров, как правило, измерения проводят в одной точке. На вертикальных резервуарах, где уровень может достигать 10 и более метров, измерения проводят в трех точках и вычисляют среднее значение.

В последние годы на рынке появились автоматизированные измерительные системы, позволяющие вести постоянное наблюдение за параметрами жидкости в резервуаре. Данные системы предоставляют информацию об уровне, температуре и плотности нефтепродукта. На основании информации об уровне жидкости и градуировочной таблицы резервуара система рассчитывает занимаемый жидкостью объем и с учетом полученных данных по плотности рассчитывает массу с учетом поправки на температуру окружающей среды. Конкретно это описывается соотношением [1]

$$m = V_0 [1 + (2\alpha_{ст} + \alpha_{си})(t_{изм} - t_0)] \rho_{ср},$$

где  $V_0$  – объем, полученный по градуировочной таблице;

$\alpha_{ст}$  – температурный коэффициент линейного расширения материала стенок резервуара;

$\alpha_{си}$  – температурный коэффициент линейного расширения материала системы измерения;

$t_{изм}$  – температура, при которой выполнялись измерения;

$\rho_{ср}$  – средняя плотность нефтепродукта.

Коммерческий учет предъявляет повышенные требования к точности измерений. В идеальном случае оценка массы в резервуаре не должна зависеть от внешних факторов. При использовании подобных систем эксплуатирующую организацию в основном интересуют оперативные данные о количестве нефтепродуктов.

Погрешность же результатов отдельных измерений отвечает характеристикам, заявленным в паспорте изделия, поэтому тренд процесса остается, как правило, неисследованным.

С применением измерительных систем в составе автоматизированных комплексов управления технологическими процессами складов ГСМ появилась возможность получать данные о параметрах жидкости в резервуаре с высокой частотой (одно измерение в минуту) и накапливать их в течение длительных периодов времени. Это позволило выявить дрейф показаний датчиковой аппаратуры, являющийся медленно меняющимся процессом.

При сборе данных с действующих объектов было замечено, что на величину оценки массы сильное влияние оказывает изменение температуры окружающей среды (рис. 1). Сплошной линией отмечена масса, пунктиром – температура.

В данной статье показана возможность учета влияния температуры окружающей среды на оценку массы нефтепродуктов в резервуаре. Для выявления уровня этой зависимости на первом этапе целесообразно установить коэффициент корреляции температуры  $t$  и оценки массы  $\hat{m}$ . Исходя из общего вида зависимости, представленной на рис. 1, можно предположить, что между оценкой массы и температурой существует зависимость, близкая к линейной.

Коэффициент линейной корреляции температуры и массы рассчитывается по формуле [2], где  $m_i$  – значение массы,  $t_i$  – значение температуры,  $\bar{m}$  и  $\bar{t}$  – математические ожидания массы и температуры соответственно.

$$K = \frac{\sum (m_i - \bar{m})(t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum (m_i - \bar{m})^2 (t_i - \bar{t})^2}}$$

Для представленных на рис. 1 данных коэффициент корреляции составляет 0,88, что говорит о сильной линейной зависимости. Данное обстоятельство обуславливает возможность поиска уравнения регрессии для установления поправки, которую необходимо вводить в каждое измерения с целью компенсации температурного дрейфа.

Исходя из того, что линия регрессии чаще всего ищется в виде линейной функции

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + \dots + b_n \cdot X_n$$

(линейная регрессия), наилучшим способом приближающей искомую кривую. Делается это с помощью метода наименьших квадратов [3]. Тогда

$$f = \sum_{i=1}^n (m_i - \hat{m}_i)^2 \rightarrow \min,$$

где  $m$  – измеренное значение массы;

$\hat{m}$  – масса полученная из уравнения регрессии.

Применим метод наименьших квадратов для поиска наиболее подходящей линии зависимости, чтобы таким образом минимизировать разность значений искомой функции и фактического значения.

Условием минимума является

$$\begin{cases} \frac{df}{db_0} = 0, \\ \frac{df}{db_1} = 0, \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} -2 \sum_{i=0}^n (m_i - b_0 - b_1 t_i) = 0, \\ -2 \sum_{i=0}^n (m_i - b_0 - b_1 t_i) t_i = 0, \end{cases}$$

или

$$\begin{cases} nb_0 + b_1 \sum_{i=0}^n t_i - \sum_{i=0}^n m_i = 0, \\ b_0 \sum_{i=0}^n t_i + b_1 \sum_{i=0}^n t_i^2 - \sum_{i=0}^n m_i t_i = 0. \end{cases}$$

Решив полученную систему линейных уравнений, относительно  $b_0$  и  $b_1$  находим коэффициенты регрессии. На рис. 2 показан график полученной зависимости. Облако точек представляет собой отметки массы, найденные по результатам измерений, прямая – график массы, полученный из уравнения регрессии.

Коэффициент  $b_0$  является постоянной составляющей для представленной выборки и в дальнейших расчетах не используется. Коэффициент  $b_1$  представляет собой коэффициент наклона и может быть использован для расчета температурной поправки

$$m'(t) = b_1 (t_{map} - t),$$

где  $t$  – текущая температура;

$t_{map}$  – температура при которой произошло тарирование измерительной системы.

Таким образом, окончательное выражение для расчета массы нефтепродукта в резервуаре с учетом температурной поправки принимает вид

$$m = m_{изм} + b_1 (t_{map} - t_{изм}).$$

Для рассмотренного набора данных (рис. 1) коэффициент  $b_1 \approx 224$ , график ис-

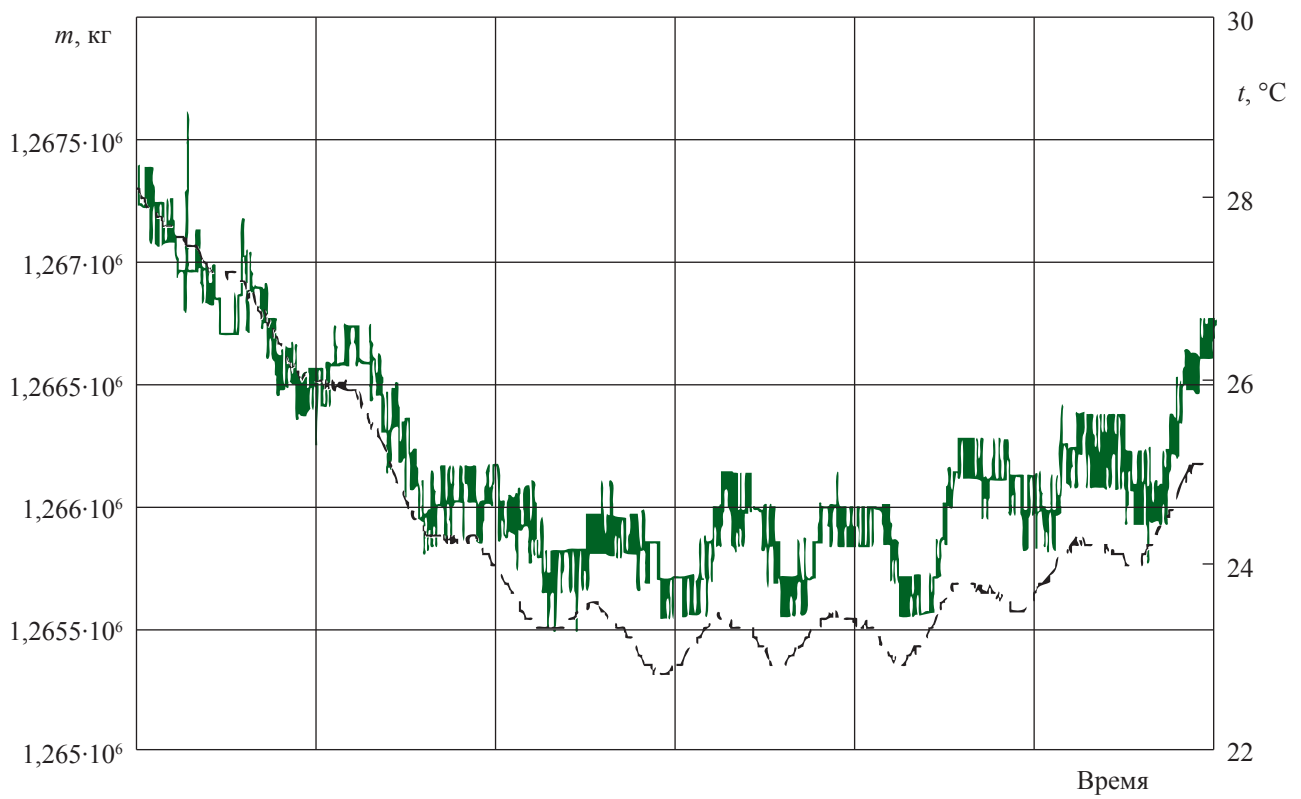


Рис. 1. Временная зависимость массы и температуры

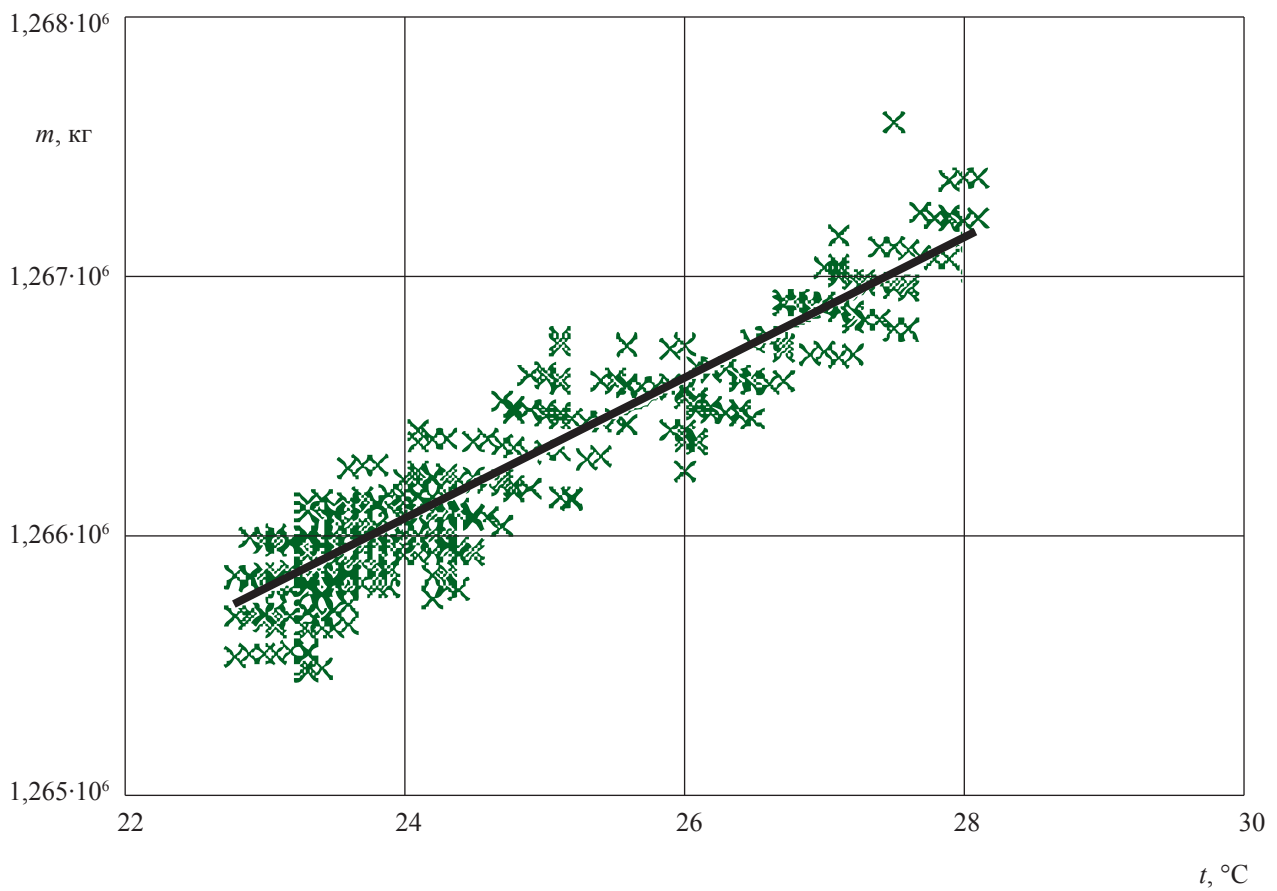


Рис. 2. Зависимость массы от температуры

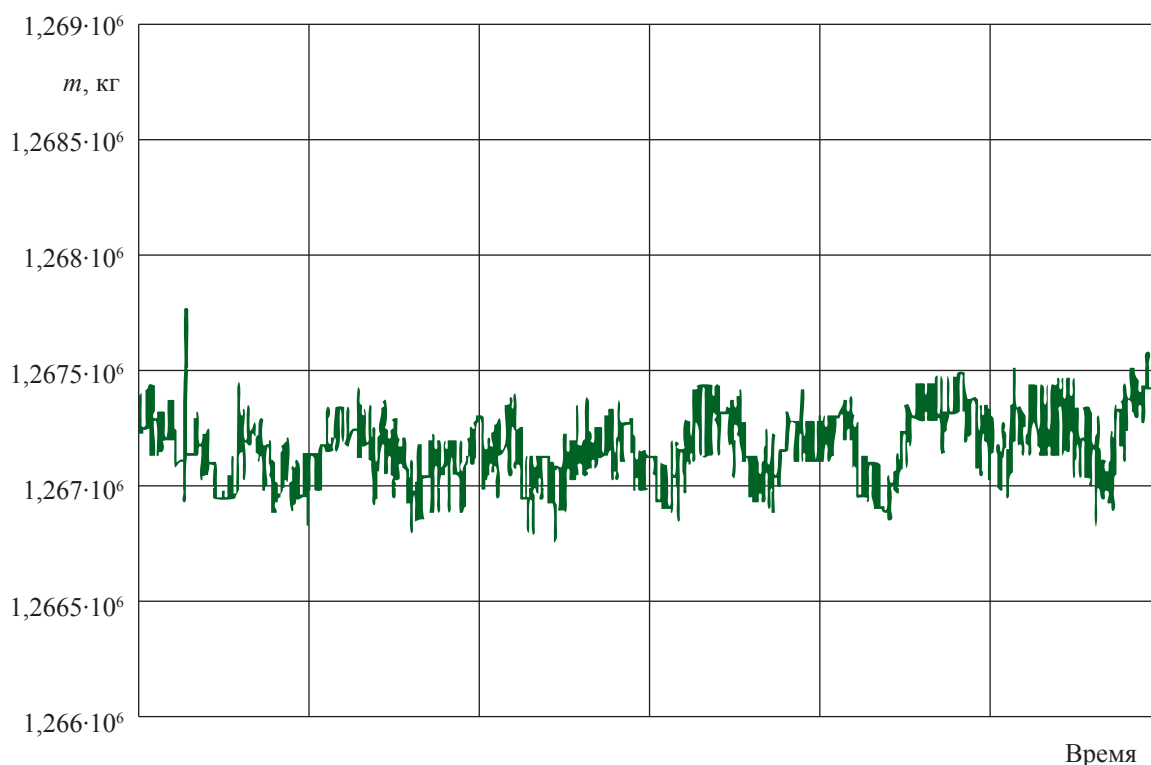


Рис. 3. График скорректированной массы

правленной массы имеет вид, представленный на рис. 3. Из полученных данных видно, что разброс значений оценки массы снизился в абсолютных единицах с 1600 до 600 кг.

Найденная поправка с определенной долей вероятности может являться характеристикой системы измерения массы, образованной мерой вместимости (резервуаром) и установленной на ней системой измерения параметров жидкости. Ввиду особенностей резервуаров и допусков при изготовлении измерительных систем данную характеристику целесообразно рассчитывать индивидуально для каждого оборудованного резервуара на основе статистических данных и нецелесообразно определять на предприятии изготовителе системы измерения параметров жидкости. Таким образом, алгоритм вычисления и учета поправки должен быть заложен в программном обеспечении комплекса автоматизированного управления.

Предложенный подход к компенсации температурной погрешности может быть использован непосредственно для разработки инженерных методик для расчета массы

нефтепродуктов в резервуарах в условиях меняющейся температуры окружающей среды.

Установленное влияние температуры на оценку массы требует дополнительного исследования причин его возникновения с целью доработки способов его учета.

Повышение точности измерений в комплексах управления технологическими процессами налива и коммерческого учета является важной технической задачей, решение которой позволяет не только повысить эксплуатационные характеристики всего комплекса, но и экономить существенные объемы финансовых средств.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 8.595-2004. Масса нефти и нефтепродуктов;
2. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2004. – ISBN 5-06-004214-6
3. Норман Дрейпер. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия = Applied Regression Analysis / Норман Дрейпер, Гарри Смит. – 3-е изд. – М.: «Диалектика», 2007. – ISBN 0-471-17082-8.

## ПРИЕМ И ОБРАБОТКА РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВК, ПОСТУПАЮЩИХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Н.А. ДУБРОВСКИЙ, *асп. каф. ПМ МГУЛ*,  
И.П. КОЗЛОВ, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук*

*korolkov@mgul.ac.ru*

**В** настоящее время для повышения точности определения координат навигационного приемника потребителя в системах GPS и ГЛОНАСС широкую популярность приобрело использование дифференциальных поправок (измерений). Дифференциальные спутниковые измерения – метод спутниковых измерений, в котором определяются расстояния (приращения) между измеряемой точкой и точкой с известными координатами (исходной). Дифференциальный режим реализуется с помощью контрольного навигационного приемника, называемого базовой станцией. Базовая станция устанавливается в точке с известными географическими координатами. Сравнивая известные координаты (полученные в результате прецизионной геодезической съемки) с измеренными координатами, базовый навигационный приемник формирует поправки, которые передаются потребителям по каналам связи. Приемник потребителя учитывает принятые от базовой станции поправки при решении навигационной задачи. Это позволяет определить его координаты с точностью до 1 метра. Передача дифференциальных поправок от базовой станции к потребителю может осуществляться с помощью телефонной или радиосвязи, по системам спутниковой связи (например, INMARSAT), по сети Интернет, а также с использованием технологии передачи цифровых данных RDS (Radio Data System) на частотах FM-радиостанций.

Рассматриваемый в данной статье способ передачи и обработки дифференциальных поправок осуществляется по сети Интернет в режиме реального времени, то есть в таком режиме работы автоматизированной системы обработки, при котором учитываются ограничения на временные характеристики функционирования. Главными характеристиками режима реального времени являются:

1. Предельный срок завершения обработки данных, т.е. система реального времени должна обрабатывать входные данные за время, не превышающие заранее установленное  $t_{max}$ .

2. Время отклика системы, т.е. время между получением входных данных и началом их обработки.

3. Разброс значений времени отклика.

Таким образом, система реального времени – это любая система, которая удовлетворяет перечисленным характеристикам режима реального времени.

Очевидно, что навигационные приемники работают в режиме реального времени. Действительно, приемник должен обработать сигналы от спутников за строго определенное время, иначе показания приемника могут быть недействительными. Следовательно, чем меньше максимальное время обработки спутниковых сигналов, тем точнее приемник определяет свои координаты (в качестве примера можно привести автомобильный навигатор – чем выше скорость движения автомобиля, тем хуже могут быть определяемые приемником координаты и наоборот).

Следует различать 2 режима реального времени:

1. Мягкий режим.
2. Жесткий режим.

Жесткий режим реального времени подразумевает, что максимальное время, как отклика, так и обработки, строго определено и не может быть превышено ни при каком стечении обстоятельств. В мягком режиме допускается превышение времени отклика в рамках установленного, что негативно влияет на качество работы системы. Таким образом, для жесткого режима справедливо утверждение: нарушение временных ограничений равнозначно отказу системы.

Состояния и функция перехода конечного автомата

Начальное состояние	Функция перехода	Новое состояние
$s_0$	Поиск стартовых бит	$s_1$
$s_1$	Считывание длины $K$	$s_2$
$s_2$	Считывание $N$ байт данных переменной длины	$s_3$
$s_3$	Считывание контрольной суммы	$s_4$
$s_4$	Проверка контрольной суммы	$s_5$ – данные корректны $s_0$ – контрольные суммы не совпали
$s_5$	Функция выхода $g$	$s_0$

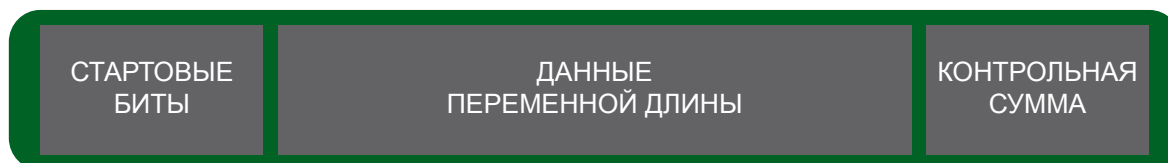


Рисунок. Специальный двоичный формат

Навигационные приемники относятся к системам, работающим в мягком режиме реального времени. Основным фактором, влияющим на точность работы приемников, являются условия приема. Дифференциальные поправки призваны улучшить качество работы приемников и повысить точность определяемых ими координат.

Одним из протоколов передачи дифференциальных поправок в режиме реального времени является протокол, разработанный специальным комитетом морской радиотехнической комиссии RTCM 104 v3.x (Radio Technical Commission for Maritime Services). Для передачи данных в данном протоколе используется специальный двоичный формат, в котором входящий поток разделен на сообщения переменной длины. Для разделения потока на сообщения используются заранее известные стартовые биты и уникальные для каждого сообщения контрольные суммы (рисунок).

Для проверки достоверности сообщения по специальному алгоритму вычисляется контрольная сумма из битов данных переменной длины и сверяется с контрольной суммой, содержащейся в сообщении. Все сообщения передаются непрерывным потоком байт через Интернет. Очевидно, что система приема сообщений должна уметь успешно находить во входящем потоке стартовые биты и лишь затем считывать данные сообщения и проверять кон-

трольную сумму. Данное наблюдение помогает заключить, что для реализации подобного рода систем приема и обработки сообщений разумно использовать конечные автоматы (КА).

Конечный автомат определяется следующим образом

$$\{A, VT, f, g, S, Z\},$$

где  $A$  – конечное множество состояний автомата

$VT$  – допустимый входной алфавит (конечное множество допустимых входных символов), из которого формируются строки, считываемые автоматом

$S$  – начальное состояние

$Z$  – конечное состояние

$f$  – функция перехода

$g$  – функция выхода

В качестве начального состояния  $s_0$  берется состояние поиска стартовых бит.

В таблице представлены состояния и функция перехода данного конечного автомата.

Так как переход из одного состояния в другое происходит в дискретные моменты времени, но зависит от объема входных данных и качества канала связи с серверами RTCM, то алгоритм на основе конечного автомата удовлетворяет требованиям мягкого режима реального времени.

В результате реализации данного конечного автомата было разработано програм-

мное обеспечение, принимающее дифференциальные поправки в режиме реального времени для последующей оценки точностных характеристик систем ГЛОНАСС и GPS. Результаты оценок, обновляемых с периодичностью от 5 минут до 1 суток, приведены на специализированном технологическом сайте Информационно-аналитического центра координатно-временного и навигационного обеспечения (ИАЦ КВНО) ЦНИИмаш (<http://www.glonass-center.ru>), ориентированном, в основном, на потребителей в области анализа функциональных характеристик космических навигационных систем. На технологическом сайте ИАЦ КВНО доступна следующая информация:

- детальная оценка эфемеридно-временной информации (ЭВИ) всех космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS на интервале последнего месяца (апостериорный режим) и на интервале трех суток, в том числе в режиме, близком к реальному времени;
- результаты оценки точности апостериорной и прогнозной ЭВИ ИАЦ КВНО,

используемой для анализа функциональных характеристик ГНСС, в том числе относительно зарубежных центров анализа;

- результаты оценки точности определения координат потребителей по различным измерениям (одно и двухчастотным, кодовым и сглаженным фазой) с использованием бортовой (штатной) и апостериорной ЭВИ;
- результаты оценки систематических погрешностей кодовых измерений различных типов наиболее распространенной геодезической навигационной аппаратуры;
- результаты оценки параметров, определяющих потенциальную потребительскую точность ГНСС ГЛОНАСС и GPS.

#### Библиографический список

1. Белоусов, А.И. Дискретная математика / А.И. Белоусов, С.Б. Ткачев. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. Харисов, В.Н. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / В.Н. Харисов, А.И. Перов, В.А. Болдин. – М.: ИПРЖР, 1998
3. M. Grewal, L. Weill, A. Andrews. Global positioning systems, inertial navigation and integration. Wiley, 2007

## РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВК, ПОСТУПАЮЩИХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Н.А. ДУБРОВСКИЙ, *асп. каф. ПМ МГУЛ*,  
И.П. КОЗЛОВ, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук*

*korolkov@mgul.ac.ru*

В настоящее время для повышения точности определения координат навигационного приемника потребителя в системах GPS и ГЛОНАСС широкую популярность приобрело использование дифференциальных поправок (измерений). В данной статье рассматривается реализация работы конечного автомата для приема дифференциальных поправок в режиме реального времени по протоколу RTCM 104 v3.x (Radio Technical Commission for Maritime Services).

Для передачи данных в данном протоколе используется специальный двоичный формат, в котором принимаемые данные разделены на сообщения переменной длины с помощью заранее известных стартовых битов и уникальных для каждого сообщения контрольных сумм. Сообщения передаются непрерывным потоком байт через интернет (рис. 1).

Проверка достоверности сообщения осуществляется сравнением контрольной

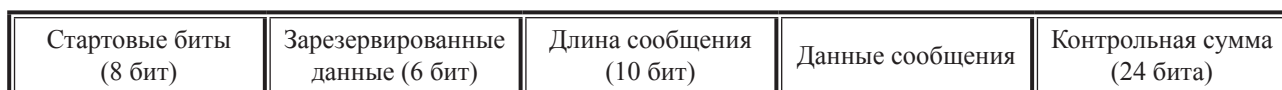


Рис. 1. Схематическое изображение сообщения

Состояния и функция перехода конечного автомата

Исходное состояние	Функция перехода $f$	Новое состояние
$s_0$	Поиск стартовых бит	$s_1$
$s_1$	Считывание длины $N$	$s_2$
$s_2$	Считывание $N$ байт данных переменной длины	$s_3$
$s_3$	Считывание контрольной суммы	$s_4$
$s_4$	Проверка контрольной суммы	$s_5$ – данные корректны $s_0$ – контрольные суммы не совпали
$s_5$	Функция выхода $g$	$s_0$

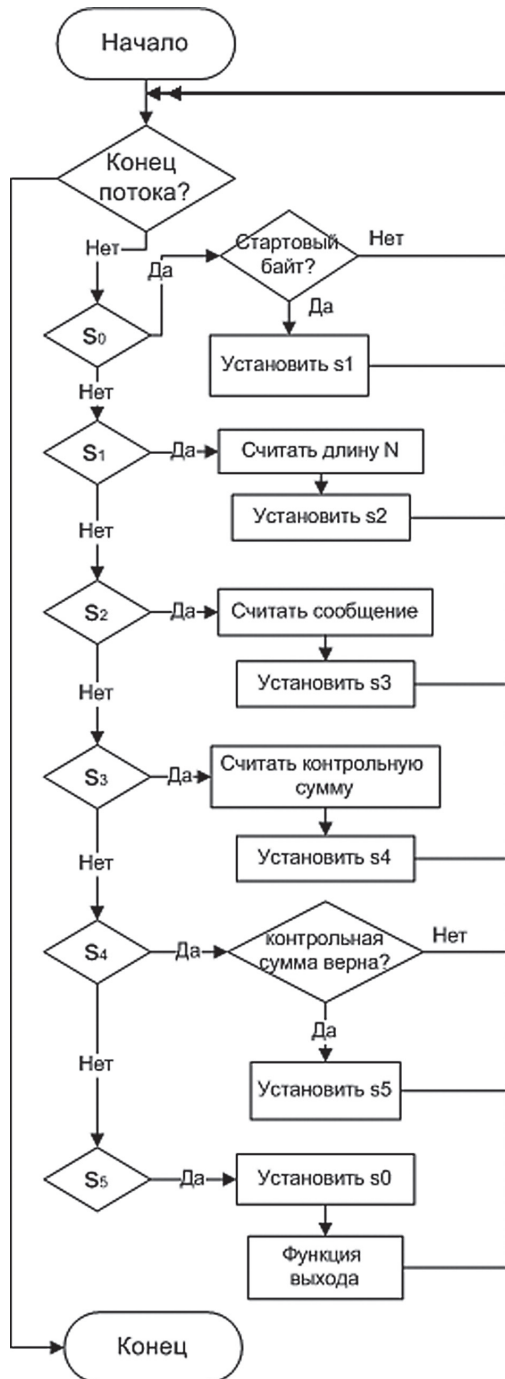


Рис. 2. Алгоритм для реализации работы КА

суммы, содержащейся в сообщении, с контрольной суммой, вычисленной с помощью специального алгоритма по байтам данного сообщения.

Рассмотрим конечный автомат, принимающий данные по протоколу RTCM. Конечный автомат определяется следующим образом

$$\{A, VT, f, g, S, Z\},$$

где  $A$  – конечное множество состояний автомата;

$VT$  – допустимый входной алфавит (конечное множество допустимых входных символов), из которого формируются строки, считываемые автоматом;

$S$  – начальное состояние;

$Z$  – конечное состояние;

$f$  – функция перехода;

$g$  – функция выхода.

В начальном состоянии  $s_0$  конечный автомат производит поиск стартовых бит.

В таблице представлены состояния и функция перехода данного конечного автомата

Для реализации работы данного КА рассмотрим следующий алгоритм (рис. 2).

Рассмотрим работу конечного автомата на примере разбора следующего потока байт: D2 00 D3 00 13 3E D7 D3 02 02 98 0E DE EF 34 B4 BD 62 AC 09 41 98 6F 33 36 0B 98:

1. В начале работы конечный автомат находится в состоянии  $s_0$ , в котором он находится до тех пор, пока не встретит во входном потоке стартовые биты –  $11010011_2$  ( $D3_{16}$ ). Поэтому первые 2 байта будут пропущены. При считывании 3 байта – стартового – КА установит следующее состояние в  $s_1$ .



2. В состоянии  $s_1$  будут считаны байты 00 13, равные 19 в десятичной системе счисления, следовательно, длина сообщения равна 19 байтам. КА установит следующее состояние в  $s_2$ .

3. В состоянии  $s_2$  будут считаны 19 байт – 3E D7 D3 02 02 98 0E DE EF 34 B4 BD 62 AC 09 41 98 6F 33. КА установит следующее состояние в  $s_3$ .

4. В состоянии  $s_3$  будут считаны 3 байта контрольной суммы – 36 0B 98. КА установит следующее состояние в  $s_4$ .

5. В состоянии  $s_4$  будет вычислена контрольная сумма на основе байт с 3 по 24 (21 байт) и произведена проверка на равенство контрольной сумме, считанной в состоянии  $s_3$ . КА установит следующее состояние в  $s_5$ .

6. Если контрольные суммы совпали, то будет вызвана функция выхода – функция

расшифровки данных, зашифрованных в считанных 19 байтах сообщения. КА установит следующее состояние в  $s_0$ .

В результате работы данного алгоритма функцией выхода будут создаваться расшифрованные сообщения, содержащие дифференциальные поправки и иные технологические данные, описывающих состояние и параметры глобальных спутниковых навигационных систем.

#### Библиографический список

1. Белоусов, А.И. Дискретная математика / А.И. Белоусов, С.Б. Ткачев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
2. Харисов, В.Н.. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / В.Н. Харисов, А.И. Перов, В.А. Болдин. – М.: ИПРЖР, 1998.
3. M. Grewal, L. Weill, A. Andrews. Global positioning systems, inertial navigation and integration. Wiley, 2007

## ИЗМЕРЕНИЕ СВЧ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЕЙ АФАР И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СТЕНДЕ

В.А. ЖЕРНОВЕНКОВ, *асп. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ,*

П.А. ТАРАСЕНКО, *проф. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ, канд. техн. наук,*

Н.М. ПУШКИН, *с. н. с., начальник ОАО «Научно-производственного объединения измерительной техники», д-р техн. наук*

*vind86@mail.ru, tarasenko@mgul.ac.ru*

В настоящее время одним из основных направлений в радиолокационной технике является создание радарных систем на базе активных фазированных антенных решеток АФАР. Радары, построенные на АФАР, состоят из модулей, каждый из которых содержит элемент антенны, передатчик и приемник, в отличие от одного большого передатчика мощностью несколько сотен киловатт, питающего несколько тысяч элементов, каждый из которых излучает только десятки ватт мощности, применяемого в радарных с пассивной фазированной решеткой.

Благодаря модульной структуре активные решетки более надежны, поскольку отказ любого элемента решетки просто ухудшает работу антенны, в то время как отказ передат-

чика в обычных радарных приводит к выходу из строя всей системы.

Другой особенностью активных решеток является способность управлять амплитудными и фазовыми характеристиками индивидуальных приемно-передающих модулей. Типовая структурная схема модуля АФАР приведена на рис. 1.

В состав приемного и передающего каналов входят 5-6-и разрядные ступенчатые аттенюаторы и фазовращатели, определяющие положение луча в пространстве.

Для радара истребителя требуется обычно от 1 000 до 1 800 модулей, поэтому одной из проблем создания радарных систем на базе АФАР является сокращение времени проверки рабочих параметров submodule при

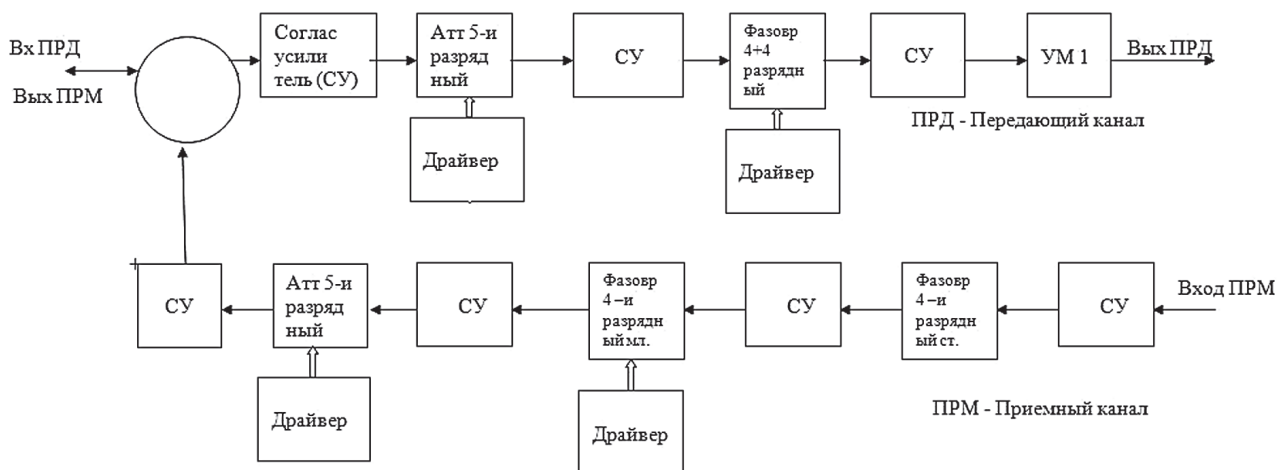


Рис. 1. Типовая структурная схема приемо-передающего модуля АФАР

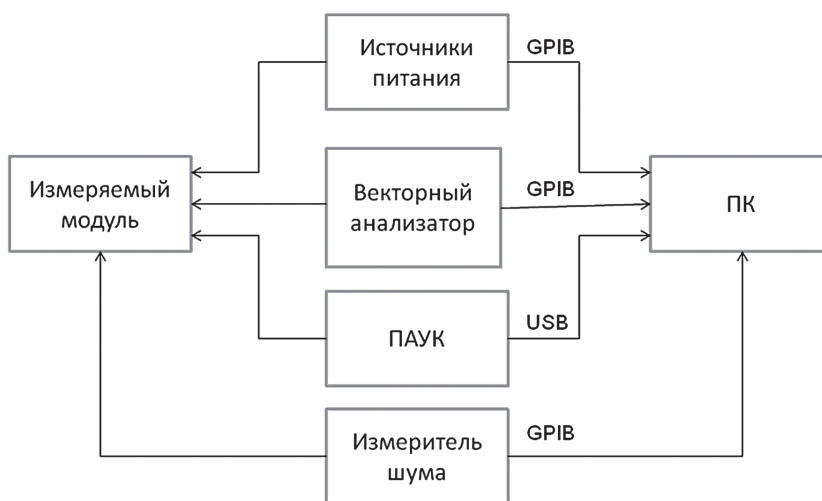


Рис. 2. Структурная схема стенда измерения амплитуды и фазы коэффициента передачи и коэффициента шума

их серийном производстве. Вследствие того, что с одного модуля нужно снять порядка 600 СВЧ параметров (коэффициент усиления, фаза, коэффициент шума, выходная импульсная мощность), то при измерении вручную на это уходит около 2-х часов, не говоря уже о нескольких тысячах выпускаемых модулей при серийном производстве. Для измерения этих параметров и сокращения времени проверки submodule был собран стенд на базе серийного оборудования фирмы Agilent Technologies, а также основе опыта проведения ручных измерений были разработаны алгоритмы, а затем написано программное обеспечение для автоматизации процесса измерения.

В данной статье будут рассмотрены алгоритм и принципы работ программы для автоматического измерения коэффициента передачи, фазы и коэффициента шума.

### Состав оборудования

Структурная схема стенда приведена на рис. 1. В состав его оборудования входят: векторный анализатор PNA E8362B, два программируемых источника питания N6700b, измеритель шума N8975A, зондовое устройство, персональный компьютер с установленным программным обеспечением и специально разработанный пульт автоматического управления каналами ПАУК, с помощью которого производится переключение каналов и управление аттенюаторами и фазовращателями в submodule. Связь измерительных приборов с компьютером производится по интерфейсу GPIB [1].

### Алгоритм выполнения программы

Рассмотрим алгоритм выполнения программы, в него входят следующие этапы

(рис. 2). Вначале производится проверка соединения между приборами и выставляются начальные установки измерений. Далее выбирается канал, включаются источники питания, измеряются амплитуды, фазы и коэффициент шума. Все эти действия выполняются по получении соответствующих команд от оператора. После этого производится автоматическая обработка результатов: подсчет СКО (среднеквадратичная ошибка), модуляций фазы и амплитуды и неравномерности коэффициента передачи.

Расчет неравномерности коэффициента усиления субмодуля в рабочем диапазоне частот проводят по формуле

$$\Delta K_y = K_{y \max} - K_{y \min} \text{ (дБ)}. \quad (1)$$

Расчет среднеквадратичной ошибки изменения фазы ФВ по фазовращателю проводят по формуле

$$\Delta m_{\phi 0} = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n (m_{\phi 0i} - m_{\phi ij})^2}, \quad (2)$$

где  $m_{\phi 0i}$  – номинальное значение фазы  $i$ -ого разряда;

$m_{\phi ij}$  – значение фазы  $i$ -ого разряда на  $j$  частоте.

Расчет среднеквадратичной ошибки установки дискрета затухания по аттенуатору проводят по формуле

$$\Delta m_{\alpha 0} = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n (m_{\alpha 0j} - m_{\alpha ij})^2}, \quad (3)$$

где  $m_{\alpha 0j}$  – номинальное значение ослабления АТТ  $i$ -ого разряда;

$m_{\alpha ij}$  – значение ослабления АТТ  $i$ -ого разряда на  $j$  частоте.

Расчет максимального изменения коэффициента усиления канала субмодуля  $\Delta K_y$  при изменении дискрета фазы ФВ проводят по формулам

$$\Delta K_{y \phi} = K_{y \phi \max i} - K_{y i} \quad (4)$$

$$\Delta K_{y \phi} = K_{y i} - K_{y \phi \min i} \quad (5)$$

где  $K_{y \phi \max i}$  – максимальный коэффициент усиления при установлении  $i$ -ого разряда фазовращателя;

$K_{y \phi \min i}$  – минимальный коэффициент усиления при установлении  $i$ -ого разряда фазовращателя;

$K_{y i}$  – значение коэффициента усиления при нулевой фазе.

Расчет максимального изменения фазы субмодуля  $\delta m_{\phi 1,2}$  при изменении дискретов затухания АТТ проводят по формуле

$$\delta m_{\phi} = \delta m_{\phi \max i} - \delta m_{\phi \min i} \quad (6)$$

где  $\delta m_{\phi \max i}$  – максимальное изменение фазы  $i$ -ого разряда АТТ;

$\delta m_{\phi \min i}$  – минимальное изменение фазы  $i$ -ого разряда АТТ.

### Описание интерфейса программы

По вышеприведенному алгоритму в среде графического программирования Labview [2] было разработано программное обеспечение. Интерфейс программы измерения амплитуды и фазы приведен на рис. 3. С помощью кнопок «Питание», «-5ПРД», «+8ПРД» подается питание на субмодуль, причем кнопка «+8ПРД» заблокирована до тех пор, пока по цепи питания «-5ПРД» ток не будет превышать 0,005А. В полях «-5ДРВ», «+5ДРВ», «+5ПРМ/ПРД», «-5ПРД», «+8ПРД» отображаются значения силы тока на соответствующих выводах субмодуля. С



Рис. 3. Алгоритм выполнения программы измерения амплитуды и фазы коэффициента передачи и коэффициента шума

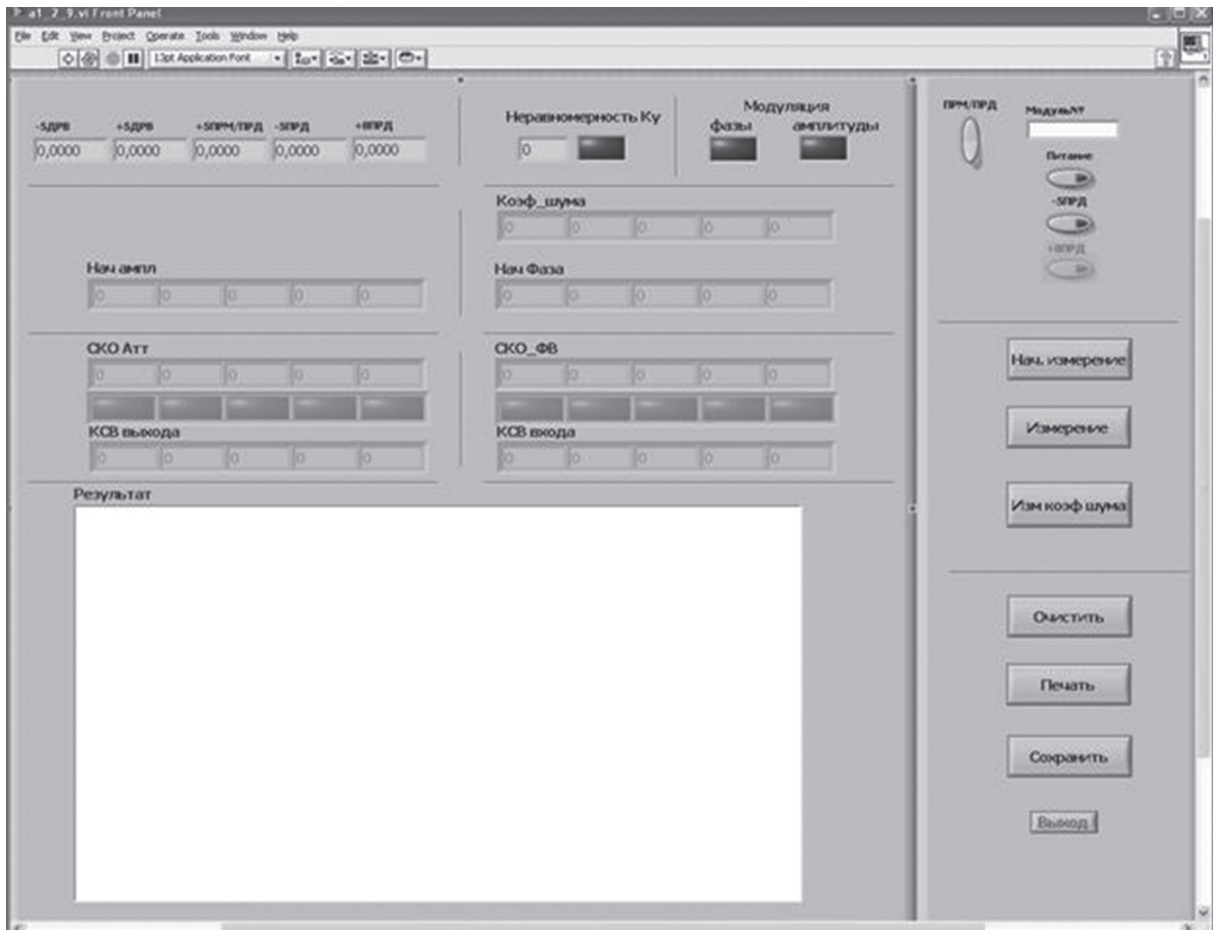


Рис. 4. Интерфейс программы измерения амплитуды и фазы коэффициента передачи и коэффициента шума

27\_27.01.11 - Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

ПРМ Модуль№ 27 27.01.2011  
Токи потребления: -0.002 -0.001 0.042  
9.5ГГц 9.8ГГц 10ГГц 10.2ГГц 10.6ГГц 9.5ГГц 9.8ГГц 10ГГц 10.2ГГц 10.6ГГц  
14.08 14.05 13.75 13.04 11.00 -39.4 -131.4 -194.0 -261.8 -374.3  
Неравномерность Ку: 3.08

Знач_Ампл					Модуляция					
0.5	0.44	0.53	0.54	0.49	0.49	1.7	1.8	2.3	2.9	2.3
1	1.34	1.44	1.41	1.29	1.16	0.9	1.4	1.8	3.1	0.7
2	2.07	2.23	2.16	2.05	1.90	1.1	1.3	1.7	2.8	0.6
4	3.66	3.85	3.90	3.87	3.85	2.7	2.4	2.1	4.1	1.4
8	6.98	7.51	7.76	7.93	7.87	1.0	0.3	0.1	4.0	3.3

Модуляция

Знач_Фазы										
11.5	0.77	0.84	0.78	0.64	0.14	8.2	7.5	6.4	5.2	5.9
5.6	0.62	0.69	0.59	0.40	0.07	3.1	2.0	0.8	-0.1	0.6
180	0.60	0.84	1.03	1.16	0.39	-180.8	-178.6	-180.1	-191.7	-167.6
90	0.09	0.68	0.84	1.45	1.41	86.4	90.5	88.8	82.6	95.5
45	0.74	1.14	1.41	1.92	0.60	39.8	43.0	42.6	39.5	41.7
22.5	0.49	0.70	0.75	0.86	0.11	17.8	18.0	17.1	15.8	16.0

Макс\_модуляция\_фазы. 4.13 Макс\_модуляция\_ампл 1.92  
СКО\_Атт СКО\_ФВ  
0.51 0.32 0.23 0.15 0.12 3.61 2.97 3.71 7.46 6.95

ПРД Модуль№ 27 27.01.2011  
Токи потребления: -0.001 -0.002 0.087 0.020 0.228  
9.5ГГц 9.8ГГц 10ГГц 10.2ГГц 10.6ГГц 9.5ГГц 9.8ГГц 10ГГц 10.2ГГц 10.6ГГц  
29.22 31.00 29.41 32.37 31.19 63.9 -29.7 -94.1 -161.0 -293.2  
Неравномерность Ку: 3.15

Знач_Ампл					Модуляция					
0.5	0.42	0.55	0.54	0.70	0.61	1.1	0.3	0.5	0.7	0.5
1	0.90	1.07	1.01	1.20	1.04	0.5	0.6	0.5	0.0	0.6
2	1.90	2.21	2.18	2.60	2.16	2.0	5.3	4.7	3.7	4.7
4	3.73	4.40	4.27	4.96	4.24	0.7	4.5	3.3	2.0	4.2
8	6.84	7.80	7.41	8.59	7.49	9.1	1.9	1.8	3.1	0.5

Модуляция

Знач_Фазы										
11.5	0.00	0.05	0.02	0.05	0.04	14.6	15.2	13.9	14.3	12.2
5.6	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	8.4	8.6	7.9	8.1	6.7
180	0.31	0.30	0.07	0.09	0.11	182.1	184.5	182.8	183.4	184.0
90	0.21	0.18	0.03	0.19	0.10	91.7	96.5	92.9	96.6	94.2
45	0.06	0.11	0.03	0.16	0.13	45.1	47.5	45.4	48.2	46.5
22.5	0.04	0.04	0.00	0.06	0.04	21.4	22.7	21.5	22.7	22.0

Макс\_модуляция\_фазы. 9.13 Макс\_модуляция\_ампл 0.31  
СКО\_Атт СКО\_ФВ

Рис. 5. Результаты измерения амплитуды и фазы коэффициента передачи и коэффициента шума

помощью переключателя «ПРМ/ПРД» производится выбор соответствующего канала. При нажатии на кнопку «Нач. измерение» измеряются СВЧ параметры при нулевых значениях фазы и амплитуды, а также КСВ входа и выхода и подсчет неравномерности коэффициента передачи. Нажатием на кнопку «Измерение» производится измерение СВЧ параметров при различных значениях фаз и аттенуаторов, а также автоматически обрабатываются результаты.

С помощью кнопки «Измерение коэфф\_шума» производится измерение коэффициента шума. Некоторые параметра снабжены цветовыми индикаторами. Если измеренные значения не соответствуют техническому заданию, то индикаторы меняют свой цвет на красный. Полный отчет об измеренных параметрах отображается в поле «Результат».

С помощью кнопок «Сохранить», и «Печать» можно соответственно сохранить результаты измерений в формате .txt или распечатать отчет, который представлен на рис. 4.

## Выводы

Создание производственно-технологического и испытательного комплекса позволило автоматизировать процесс измерения и статистической обработки измеренных значений параметров субмодулей АФАР. Разработанное программное обеспечение для измерительного стенда позволило производить измерения всех требуемых параметров и сократило время проверки одного модуля до 20–30 сек, что значительно повысило производительность, а также облегчило контроль качества производимой продукции и дало возможность осуществлять управление качеством, а также уменьшило стоимость продукции.

## Библиографический список

1. Жерновенков, В.А. Алгоритмы и программное обеспечение стендов для измерения СВЧ параметров модулей АФАР / В.А. Жерновенков // Электронная техника. – М.: НПП Исток, 2011.
2. Евдокимов, Ю.К. LabView для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство в программной среде LabView / Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. – М.: ДМК Пресс, 2007.

## ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЗАКОНА ВИДЕМАНА–ФРАНЦА В СУБМИКРОННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКЕ

Э.В. ЗАВИТАЕВ, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р физ.-мат. наук,*  
 О.В. РУСАКОВ, *ст. преподаватель каф. математики и физики МГОГИ,*  
 А.А. ЮШКАНОВ, *проф. каф. теоретической физики МГОУ, д-р физ.-мат. наук,*  
 В.Н. ХАРЧЕНКО, *проф. каф. физики МГУЛ, д-р техн. наук*

*caf-physics@mgul.ac.ru*

Электрические свойства проводников, характерный линейный размер которых сравним с длиной свободного пробега электронов, существенно отличается от свойств «массивных» проводников [1, 2].

В работе [3] рассчитана высокочастотная электрическая проводимость тонкой цилиндрической проволоки (отношение ее радиуса к длине много меньше единицы). В работе [4] решена задача о влиянии на электрическую проводимость цилиндрической проволоки продольного магнитного поля. В упомянутых работах применяется под-

ход, основанный на решении кинетического уравнения Больцмана для электронов в металле при произвольном характере их отражения от внутренней поверхности проволоки.

В работах Видемана и Франца в 1853 г. экспериментально установлен закон, согласно которому отношение коэффициента теплопроводности  $\lambda$  к коэффициенту удельной электрической проводимости  $\sigma$  для всех металлов при одной и той же температуре одинаково и увеличивается пропорционально термодинамической температуре

$$\lambda / \sigma = L_0 T, \quad (1)$$

где в законе Видемана–Франца  $L_0$  – число Лоренца, равное  $3^{-1}(\pi k)^2 e^{-2}$ ,  $k$  – постоянная Больцмана,  $e$  – заряд электрона и  $T$  – абсолютная температура.

Исследование отклонения от закона Видемана–Франца до сих пор остается актуальной задачей, что подтверждается широким спектром научных публикаций, например [5–8].

Величины отклонения от этого закона при низких температурах могут принимать существенные значения [9]. В данной работе мы проведем учет подобного эффекта, к которому в последнее время наблюдается заметный интерес.

Заметим, что задачи о проводимости субмикронных металлических проволок становятся особенно актуальными в связи с бурным развитием микроэлектроники, где такие проволоки широко применяются.

В настоящей работе моментным методом рассчитана функция распределения, описывающая линейный отклик электронов в однородной цилиндрической проволоке на переменное электрическое поле, ориентированное вдоль оси симметрии проволоки. По найденной функции распределения удастся рассчитать зависимость локальной и интегральной проводимостей проволоки от «коэффициента Видемана–Франца» (отношения коэффициента теплопроводности к произведению коэффициента удельной электрической проводимости на число Лоренца и на абсолютную температуру металла), от отношения радиуса проволоки к длине свободного пробега электронов и частоты, а также от коэффициента зеркальности металла.

### Постановка задачи

Рассматривается цилиндрическая проволока из немагнитного металла радиуса  $R$  и длины  $L$  (считаем, что  $L \gg R$ ), к концам которой приложено переменное электрическое напряжение частоты  $\omega$ . Принимается, что направление электрического поля совпадает с осью симметрии проволоки. Скин-эффект не учитывается, т. к. радиус проволоки  $R$  предполагается малым по сравнению с характерной глубиной скин-слоя  $\delta$ .

Однородное периодическое по времени электрическое поле

$$E = E_0 \exp(-i\omega t) \quad (2)$$

действует на электроны проводимости (они рассматриваются как вырожденный ферми-газ) внутри проволоки и вызывает отклонение  $f_1$  их функции распределения  $f$  от равновесной фермиевской  $f_0$

$$f(r, v) = f_0(\varepsilon) + f_1(r, v), \quad \varepsilon = mv^2/2,$$

где  $r$  – радиус – вектор (начало системы координат выбирается на оси симметрии проволоки);

$v$  – скорость электрона;

$m$  – эффективная масса электрона в металле.

Это приводит к возникновению высокочастотного тока плотности

$$j = e \int v f \frac{2d^3(mv)}{h^3} = 2e \left( \frac{m}{h} \right)^3 \int v f_1 d^3 v, \quad (3)$$

где  $h$  – постоянная Планка [10].

В формуле (3) используется стандартная нормировка функции распределения  $f$ , при которой плотность электронных состояний равна  $2/h^3$ . Для равновесной функции  $f_0(\varepsilon)$  далее используется ступенчатая аппроксимация [8]:

$$f_0(\varepsilon) = \theta(\varepsilon_F - \varepsilon) = \begin{cases} 1, & 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_F \\ 0, & \varepsilon_F < \varepsilon \end{cases},$$

где  $\varepsilon = mv_F^2/2$  – энергия Ферми ( $v_F$  – скорость Ферми).

Предполагается, что ферми-поверхность имеет сферическую форму.

Задача сводится к отысканию отклонения  $f_1$  функции распределения электронов от равновесной  $f_0$ , возникающего под действием высокочастотного поля (2). В линейном приближении по электрическому полю функция  $f_1$  удовлетворяет кинетическому уравнению [11–13]

$$-i\omega f_1 + v \frac{\partial f_1}{\partial r} + e(vE) \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} = -\frac{f_1}{\tau}, \quad (4)$$

где предполагается стационарная зависимость от времени ( $f_1 \sim \exp(-i\omega t)$ ), а интеграл столкновений взят в приближении времени релаксации электронов  $\tau$ .

Кинетическое уравнение в  $\tau$ -приближении соответствует случаю, когда рассеяние электронов носит чисто изотропный характер. Данный характер рассеяния электронов реализуется при рассеянии на примесях. Для чистых металлов при низких температурах оказываются существенными электрон – электронные столкновения. При таких столкновениях, суммарный импульс электронной подсистемы сохраняется и соответствующее рассеяние электронов не носит изотропный характер. По этой причине одной теплопроводностью нельзя выразить всех кинетических характеристик металла, и необходимо изменить правую часть уравнения (4), моделирующую интеграл столкновений, чтобы описать ситуацию, при которой рассеяние электронов уже не является чисто изотропным. Интеграл столкновений, учитывающий электрон – электронные столкновения впервые был предложен в [14]. Кинетическое уравнение с учетом данного интеграла столкновений имеет вид

$$\frac{\partial f_1}{\partial t} + v \frac{\partial f_1}{\partial r} + e(v \cdot E) \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} = -\frac{1}{\tau} \left( f_1 - \frac{3g_0 m}{4\pi v_F^3} v \frac{\partial f_0}{\partial \varepsilon} \int v f_1 d^3 v \right). \quad (5)$$

Введем безразмерный коэффициент  $W$ , который назовем коэффициентом Видемана–Франца, равный  $W = \lambda / (T) = 1 - g_0$ . ( $g_0$  – числовой параметр,  $0 \leq g_0 \leq 1$ ). При выполнении закона Видемана – Франца  $W = 1$  и  $g_0 = 0$  (уравнение (5) переходит в (4)), это соответствует тому, что электроны при рассеянии полностью утрачивают свой первоначальный импульс, т.е. рассеяние происходит изотропно. При  $g_0 = 1$  электроны в результате рассеяния сохраняют свой импульс, то есть трение электронного газа о кристаллическую решетку отсутствует.

Заметим, что

$$W = \sigma_0 / \sigma,$$

где  $\sigma_0 = ne^2\tau/m$  – объемная статическая удельная проводимость металла при отсутствии отклонения от закона Видемана–Франца;

$n$  – концентрация электронов проводимости в металле.

### Функция распределения

Преобразуем кинетическое уравнение (5) используя функцию

$$f_1(r, v) = g(r, v) \delta(\varepsilon - \varepsilon_F) \exp(-i\omega t), \quad (6)$$

в результате получим новое уравнение

$$-i\omega g + v \frac{\partial g}{\partial r} - e v E_0 = -\frac{g}{\tau} - \frac{3g_0 m}{4\pi v_F^3 \tau} \int v g \delta(\varepsilon - \varepsilon_F) d^3 v.$$

Перейдя в последнем уравнении к цилиндрическим координатам [15], выбрав направление полярной оси  $Z$  так, чтобы она совпадала с осью симметрии проволоки, имеем

$$-i\omega g + v_r \frac{\partial g}{\partial r} + \frac{v_\varphi}{r} \frac{\partial g}{\partial \varphi} + v_z \frac{\partial g}{\partial z} + \frac{v_\varphi^2}{r} \frac{\partial g}{\partial v_r} - \frac{v_r v_\varphi}{r} \frac{\partial g}{\partial v_\varphi} - e v_z E_z = -\frac{g}{\tau} - \frac{3g_0 m}{4\pi v_F^3 \tau} v_z \int v_z g \delta(\varepsilon - \varepsilon_F) d^3 v. \quad (7)$$

Решение уравнения (7) проведем с помощью моментного метода [15], согласно которому функция  $g$  в приближении двух моментов представляется в виде

$$g = a_1(r) v_z + a_2(r) v_z v_r. \quad (8)$$

Найдем соответствующие частные производные от выражения (8) и подставим их в уравнение (7). В результате получим

$$v(a_1(r) v_z + a_2(r) v_z v_r) + v_r v_z \frac{\partial a_1(r)}{\partial r} + v_r^2 v_z \frac{\partial a_2(r)}{\partial r} + \frac{v_\varphi^2 v_z}{r} a_2(r) - e v_z E_0 = -\frac{3g_0 m}{4\pi v_F^3 \tau} \times v_z \int v_z (a_1(r) v_z + a_2(r) v_z v_r) \delta(\varepsilon - \varepsilon_F) d^3 v. \quad (9)$$

Здесь мы учли, что  $v = 1/\tau - i\omega$ .

Вычислив интеграл, стоящий в правой части уравнения (9) (учитывая связи

$v_r = v_{\perp} \cos \varphi$ ,  $v_{\varphi} = v_{\perp} \sin \varphi$ ,  $v_{\perp}^2 + v_z^2 = v_F^2$ ),  
имеем

$$\begin{aligned} & v(a_1(r)v_z + a_2(r)v_z v_r) + v_r v_z \frac{\partial a_1(r)}{\partial r} + \\ & + v_r^2 v_z \frac{\partial a_2(r)}{\partial r} + \frac{v_{\varphi}^2 v_z}{r} a_2(r) - e v_z E_0 = \\ & = -\frac{g_0 v_z}{\tau} a_1(r). \end{aligned} \quad (10)$$

Умножим выражение (10) на  $v_z$  и проинтегрируем по пространству скоростей

$$\begin{aligned} & \left( v a_1(r) - e E_0 + \frac{g_0}{\tau} a_1(r) \right) \int v_z^2 d^3 v + \\ & + \left( v a_2(r) + \frac{\partial a_1(r)}{\partial r} \right) \int v_z^2 v_r d^3 v + \\ & + \frac{\partial a_2(r)}{\partial r} \int v_r^2 v_z^2 d^3 v + \\ & + \frac{a_2(r)}{r} \int v_{\varphi}^2 v_z^2 d^3 v = 0. \end{aligned}$$

Далее вычислив значения всех четырех интегралов и подставив их в последнее равенство, приходим к уравнению

$$\begin{aligned} & v a_1(r) - e E_0 + \frac{1}{7} v_F^2 \frac{\partial a_2(r)}{\partial r} + \\ & + \frac{1}{7} v_F^2 \frac{a_2(r)}{r} = -\frac{g_0}{\tau} a_1(r). \end{aligned} \quad (11)$$

Еще одно уравнение для нахождения моментных коэффициентов  $a_1(r)$  и  $a_2(r)$ , найдем, умножив (10) на  $v_z v_r$  и интегрируя по пространству скоростей

$$\frac{\partial a_1(r)}{\partial r} = -v a_2(r). \quad (12)$$

Объединим уравнения (11) и (12) в систему, разрешив ее относительно  $a_1(r)$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^2 a_1(r)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial a_1(r)}{\partial r} - \\ & - \frac{7v^2}{v_F^2} \left( 1 + \frac{g_0}{v\tau} \right) a_1(r) = -\frac{7veE_0}{v_F^2}. \end{aligned}$$

Перейдем в полученном уравнении к новой безразмерной переменной  $\xi = r/R$ , также учтем, что

$$z = \frac{R}{v_F} v = \frac{R}{v_F} \left( \frac{1}{\tau} - i\omega \right) = x - iy,$$

тогда

$$\frac{\partial^2 a_1}{\partial \xi^2} + \frac{1}{\xi} \frac{\partial a_1}{\partial \xi} - 7z^2 \beta^2 a_1 = -\frac{7zeE_0 R}{v_F}, \quad (13)$$

где

$$\beta = \sqrt{1 + \frac{x}{z} g_0}.$$

В результате для определения моментного коэффициента  $a_1(\xi)$  мы получили неоднородное модифицированное уравнение Бесселя, частное решение которого

$$a_1 = A_0 = \frac{eE_0 R}{z v_F \beta^2}. \quad (14)$$

Общее решение однородного модифицированного уравнения Бесселя

$$a_1 = A_1 I_0(z\beta\sqrt{7}\xi) + A_2 K_0(z\beta\sqrt{7}\xi), \quad (15)$$

где

$$I_0(z\beta\sqrt{7}\xi) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \exp(\xi z\beta\sqrt{7} \cos \alpha) d\alpha, \quad (16)$$

$$K_0(z\beta\sqrt{7}\xi) = \int_0^{\infty} \frac{\cos(\xi z\beta\sqrt{7} t)}{\sqrt{t^2 + 1}} dt. \quad (17)$$

Учитывая то обстоятельство, что при  $\xi = 0$  плотность тока внутри проволоки не должна быть расходящейся функцией, константу  $A_2$  естественно положить равной нулю.

В результате решение (13) примет вид

$$a_1(\xi) = A_0 + A I_0(z\beta\sqrt{7}\xi), \quad (18)$$

где  $A \equiv A_1$ .

Обезразмерим уравнение (12) и воспользуемся им для нахождения моментного коэффициента  $a_2(\xi)$ . В результате получим

$$a_2(\xi) = -\frac{A\beta\sqrt{7}}{v_F} I_1(z\beta\sqrt{7}\xi), \quad (19)$$



где

$$I_1(z\beta\sqrt{7}\xi) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \exp(\xi z\beta\sqrt{7} \cos \alpha) \cos \alpha d\alpha. \quad (20)$$

Однозначное решение поставленной задачи возможно при выборе граничного условия для неизвестной функции  $f_1(r, v)$  на цилиндрической поверхности металлической проволоки. В качестве такого принимаем условия зеркально-диффузного отражения электронов от поверхности ( $r = R$ ):

$$\int_{v_r < 0} v_z f_1(v_r) d^3 v = q \int_{v_r < 0} v_z f_1(-v_r) d^3 v, \quad (21)$$

где  $v_r$  и  $v_z$  – соответственно, компоненты скорости электрона в плоскости, перпендикулярной к оси симметрии проволоки и вдоль оси симметрии проволоки;

$q$  – коэффициент зеркальности (вероятность зеркального отражения):  $0 \leq q \leq 1$ .

При  $q = 0$  получаем условие диффузного отражения электронов проводимости от внутренней поверхности металлической проволоки, а при  $q = 1$  условие чисто зеркального отражения. При значениях  $q \neq 0$  и  $q \neq 1$  получаем различные варианты смешанного зеркально-диффузного отражения электронов.

Граничное условие (21) позволяет получить выражение, связывающее значения моментных коэффициентов  $a_1(\xi)$  и  $a_2(\xi)$  на границе проволоки. После проведения соответствующих вычислений, имеем

$$\frac{2}{3} a_1(1)(1-q) = \frac{v_F}{4} a_2(1)(1+q). \quad (22)$$

Учитывая (18) и (19), получим, при  $\xi = 1$ , для определения константы  $A$  выражение

$$A = VA_0, \quad (23)$$

где

$$V = \frac{q-1}{3 \left[ \frac{1}{3}(1-q)I_0(z\beta\sqrt{7}) + \frac{\beta\sqrt{7}}{8}(1+q)I_1(z\beta\sqrt{7}) \right]}.$$

Соотношения (14), (18), (19) и (23) полностью определяют отклонение (6) функции распределения от равновесной в случае зеркально-диффузного отражения электронов от внутренней поверхности цилиндрической проволоки с учетом отклонения от закона Видемана–Франца.

### Расчет проводимости

Функция (6) позволяет определить плотность тока (3) внутри проволоки. При вычислении интеграла (3) удобно перейти к цилиндрическим координатам, как в пространстве координат, так и в пространстве скоростей. Вектор  $E$  параллелен оси  $Z$ , ось симметрии проволоки совпадает с осью  $Z$ .

Поле (2) в цилиндрических координатах имеет лишь  $z$  – компоненту, соответственно, и плотность тока (3) обладает лишь  $z$  – компонентой (линии тока являются прямыми параллельными оси  $Z$ ).

В силу симметрии задачи интегрирования по всему диапазону скоростей  $v_z$  заменяются интегрированием по положительному диапазону и результат удваивается, поэтому, подставляя пределы интегрирования и воспользовавшись свойствами  $\delta$ -функции [3, 4], приходим к выражению

$$j_z = \frac{4em^2}{h^3} \exp(-i\omega t) \times \int_0^{v_F} \int_0^{2\pi} \int_0^{+\infty} \frac{v_z^2 \delta(v_z - \sqrt{v_F^2 - v_\perp^2})}{\sqrt{v_F^2 - v_\perp^2}} \times [a_1(\xi) + a_2(\xi) v_\perp \cos \varphi] v_\perp dv_\perp d\varphi dv_z = \frac{8\pi em^2 v_F^3}{3h^3} a_1(\xi) \exp(-i\omega t).$$

Окончательно получим

$$j_z = \frac{ne}{m} \exp(-i\omega t) a_1(\xi). \quad (24)$$

Здесь мы учли, что концентрация электронов  $n$  в проволоке определяется по стандартной формуле, согласно которой

$$n = 2 \frac{m^3}{h^3} \int f_0 d^3 v = 2 \frac{m^3}{h^3} \frac{4\pi v_F^3}{3}.$$

Воспользовавшись законом Ома в дифференциальной форме, найдем удельную электрическую проводимость субмикронной проволоки

$$\sigma = \frac{en a_1(\xi)}{m E_0}. \quad (25)$$

Учитывая выражения (14), (18) и (23), получим

$$\sigma = \sigma_0 \frac{x}{z \beta^2} (1 + V I_0(z \beta \sqrt{7} \xi)), \quad (26)$$

где  $\sigma_0 = ne2\tau/m$  – объемная статическая удельная проводимость металла при отсутствии отклонения от закона Видемана–Франца, а интеграл  $I_0(z \beta \sqrt{7} \xi)$  определен равенством (16).

Воспользовавшись (23), получим выражение для расчета безразмерной удельной электрической проводимости субмикронной проволоки

$$\tilde{\sigma}(x, y, \xi, q, g_0) = \frac{x}{z \beta^2} \times \left( 1 + \frac{(q-1)I_0(z \beta \sqrt{7} \xi)}{3 \left[ \frac{1}{3}(1-q)I_0(z \beta \sqrt{7}) + \frac{\beta \sqrt{7}}{8}(1+q)I_1(z \beta \sqrt{7}) \right]} \right). \quad (27)$$

Проинтегрировав выражение (24), определяем полный ток через поперечное сечение цилиндрической проволоки

$$I = \frac{2\pi ne}{m} e^{-i\omega t} R^2 \left( \frac{A_0}{2} + \frac{A}{z \beta \sqrt{7}} I_1(z \beta \sqrt{7}) \right). \quad (28)$$

Формально воспользовавшись законом Ома в виде  $I = G U$ , где  $U$  – напряжение на концах проволоки, получаем формулу для расчета интегральной проводимости субмикронной проволоки  $G$  (электрическое поле внутри проволоки однородное, поэтому  $U = E L$ )

$$G = \frac{2\pi ne R^2}{m L E_0} \left( \frac{A_0}{2} + \frac{A}{z \beta \sqrt{7}} I_1(z \beta \sqrt{7}) \right).$$

Преобразуем полученное выражение, используя равенство (23)

$$G = \frac{\pi ne R^2 A_0}{m L E_0} \left( 1 + \frac{2V}{z \beta \sqrt{7}} I_1(z \beta \sqrt{7}) \right).$$

Учитывая (14), получим

$$G = \frac{G_0 x}{z \beta^2} \left( 1 + \frac{2V}{z \beta \sqrt{7}} I_1(z \beta \sqrt{7}) \right), \quad (29)$$

где  $G_0 = \pi R^2 \sigma_0 / L$ , а интеграл  $I_1(z \beta \sqrt{7})$  определен равенством (20) при  $\xi = 1$ .

Снова воспользовавшись (23), получим выражение для расчета безразмерной интегральной электрической проводимости субмикронной проволоки

$$\tilde{G}(x, y, q, g_0) = \frac{x}{z \beta^2} \times \left( 1 + \frac{2}{z \beta \sqrt{7}} \frac{(q-1)I_1(z \beta \sqrt{7})}{3 \left[ \frac{1}{3}(1-q)I_0(z \beta \sqrt{7}) + \frac{\beta \sqrt{7}}{8}(1+q)I_1(z \beta \sqrt{7}) \right]} \right). \quad (30)$$

Заметим, что при проведении численных расчетов результаты, полученные после применения формул (27) и (30), в случае отсутствия поправки к закону Видемана–Франца, когда  $g_0 = 0$  (при этом коэффициент Видемана–Франца  $W = 1$ ), совпадают с результатами работы [3], в которой использовался другой математический подход к проблеме.

### Библиографический список

1. Петров, Ю.И. Физика малых частиц / Ю.И. Петров. – М.: Наука, 1984. – 360 с.
2. Завитаев, Э. В. Высокочастотная проводимость тонкой цилиндрической проволоки из металла / Э.В. Завитаев, А. А. Юшканов // Микроэлектроника. – 2008. – Т. 37, № 6 – С. 429–438.
3. Завитаев, Э. В. Зависимость электрической проводимости тонкой цилиндрической проволоки в продольном магнитном поле от характера отражения электронов / Э. В. Завитаев, А. А. Юшканов // ЖЭТФ. – 2006. – Т. 130, № 5 (11) – С. 887–894.
4. Interaction corrections to the thermal transport coefficients in disordered metals: quantum kinetic equation approach / G. Catelani, I. L. Aleiner // Препринт. А ar Xiv: cond-mat/0405333. – 2004. – Р. 35.

5. Булыгин, В.С. Определение отношения коэффициентов теплопроводности и электропроводности методом Кольрауша / В. С. Булыгин // Физическое образование в Вузах. – 2004. – Т. 10, № 4 – С. 75–80.
6. Снарский, А.А. О законе Видемана–Франца в термоэлектрических композитах / А. А. Снарский, М. И. Женировский, И. В. Безсуднов // Термоэлектричество. – 2006. – № 3 – С. 59–65.
7. Моисеев, И.О. Использование двухпараметрического кинетического уравнения для вычисления электромагнитного поглощения мелкой металлической частицей / И. О. Моисеев, А.А. Юшканов, Ю. И. Яламов // Оптика и спектроскопия. – 2006. – № 5 – С. 857–861.
8. Gross violation of the Wiedemann–Franz law in a quasi-one-dimensional conductor / N. Wakeham, A. F. Bangura, X. Xu, J-F. Mercure, M. Greenblatt, N. E. Hussey // Nature Communications. – DOI: 10.1038/ncomms1406. – Published 19 Jul 2011.
9. Ландау, Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, И. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. – 620 с.
10. Харрисон, У. Теория твердого тела / У. Харрисон. – М.: Мир, 1972. – 616 с.
11. Займан, Дж. Электроны и фононы / Дж. Займан. – М.: ИЛ, 1962. – 488 с.
12. Лифшиц, И. М. Электронная теория металлов / И. М. Лифшиц, М. Я. Азбель, М. И. Каганов. – М.: Наука, 1971. – 416 с.
13. The low-temperature electrical resistivity of potassium size effects and the role of normal electron-electron scattering / S. de Gennaro, A. Rettori // J. Phys. F: Met. Phys. – 1984. – Vol.14. – P. 237-242.
14. Коган, М. Н. Динамика разреженного газа / М. Н. Коган. – М.: Наука, 1967. – 440 с.

## ТЕОРЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОНОМНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.Н. КАТУЛЕВ, *проф. каф. математического моделирования ТвГУ, д-р техн. наук,*  
А.Ю.КУЗНЕЦОВ, *асп. каф. математического моделирования ТвГУ*

*a-slash2003@ya.ru*

Результаты основополагающих работ [1–4] по исследованию сложных динамических систем, описываемых нелинейными системами дифференциальных уравнений, получены на основе введения и анализа функций Ляпунова – качественными методами. Однако общего алгоритма ее построения нет [5, гл. II, §2], эвристические приемы реализуются в частных случаях. Исследование устойчивости посредством построения фазовых портретов на практике возможно, как правило, лишь для систем второго порядка. Поэтому существует актуальная необходимость исследования устойчивости нелинейных динамических систем без применения функции Ляпунова. Однако такая проблема может быть решена не для всего класса нелинейных динамических систем. В [6, гл.2, §8] функция Ляпунова в явном виде не используется, но правая часть исследуемой системы представляется в виде самосопряженной матрицы. Такое допущение, очевидно, справедливо в частном случае.

Цель статьи – изложить теоремы о необходимых и достаточных условиях устой-

чивости решения нелинейных автономных систем без применения функции Ляпунова и установить их достоверность.

Теоремы, устанавливающие необходимые и достаточные условия устойчивости нелинейных автономных динамических систем

### Теорема 1

*Необходимыми и достаточными условиями асимптотической устойчивости нелинейной динамической системы, описываемой автономной системой обыкновенных дифференциальных уравнений  $n$ -го порядка*

$$\dot{x}_i(t) = X_i(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)),$$

$$i = 1, \dots, n, \quad -\infty < x_i < \infty, \quad (1)$$

*где функции  $X_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$  обладают достаточной гладкостью, являются условия положительности действительных частей собственных значений линейной сопряженной системы*

$$\dot{p}_i(t) = -\partial\left(\sum_{j=1}^n X_j(x_1, x_2, \dots, x_n)_{j_i}, i = 1, \dots, n\right) \quad (2)$$

относительно исходной и входящей в состав канонической системы автономных гамильтоновых уравнений.

**Доказательство**

Существование сопряженной системы непосредственно исходит из канонической гамильтоновой системы [7, гл.IV, п.4.4]

$$\dot{p}_i(t) = -\partial\left(\sum_{j=1}^n X_j(x_1, x_2, \dots, x_n)_{j_i}, i = 1, \dots, n\right)$$

где  $p_i(t)$  – сопряженные фазовые координаты.

Это линейная автономная система обыкновенных дифференциальных уравнений, кручение ее решения противоположно по знаку кручению решения основной системы. Действительно, воспользовавшись формулой Серре-Френе [8, гл.3, §50], для системы (2) имеем выражение кручения

$$K_1 = \frac{\begin{pmatrix} \dot{x}_1 & \dots & \dot{x}_n \\ x_1^{(n)} & \dots & x_n^{(n)} \end{pmatrix}}{(\dot{x}_1^2 + \dots + \dot{x}_n^2)^{3/2}},$$

а для сопряженной – с противоположным знаком

$$K_2 = -\frac{\begin{pmatrix} \dot{p}_1 & \dots & \dot{p}_n \\ p_1^{(n)} & \dots & p_n^{(n)} \end{pmatrix}}{(\dot{p}_1^2 + \dots + \dot{p}_n^2)^{3/2}}$$

в силу того, что структура формулы Серре-Френе одна и та же для систем (2) и (1), и она непосредственно основана на применении одного и того же линейного оператора дифференцирования [9, гл.4, §5] к правым частям систем. Противоположность знаков кручений означает, что движения по фазовым траекториям происходят в противоположных направлениях, а значит для устойчивости решения основной системы необходимо и достаточно неустойчивости решения сопряженной системы.

В связи с линейностью сопряженной системы (2) составим для нее характеристическое уравнение

$$(-\lambda)^n + S_1(-\lambda)^{n-1} + S_2(-\lambda)^{n-2} + \dots + S_{n-1}(-\lambda) + S_n = 0,$$

где  $S_\rho, \rho = 1, 2, \dots, n$ , сумма главных миноров  $\rho$  – го порядка функциональной матрицы – матрицы правой части системы (2) с непрерывными частными производными во всем пространстве  $-\infty < x_i < \infty$ , обращающимися в нуль в точке

$$x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0.$$

При этом необходимые и достаточные условия устойчивости решения исходной нелинейной автономной системы формируются по критерию Рауса-Гурвица или Льенара-Шипара непосредственно по определителям сопряженной системы и записываются в виде

$$\Delta_0 = (-1)^{n-1} < 0, \dots, \Delta_n = \begin{pmatrix} (-1)^{n-1} S_1 & \dots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \dots & S_n \end{pmatrix} < 0. \quad (3)$$

Доказательство завершено.

Подтвердим утверждение теоремы 1. Для этого покажем, что полученные условия (3) однозначно выводят на условия теоремы 1 [1, с.611] об асимптотической устойчивости решения системы (1), записанной в [1] выражением (38) [1, с.611]

$$\dot{x}(t) = X(x),$$

где  $x = (x_1, \dots, x_n)$  – вектор фазовых координат;

$X(x) = (X_1(x), \dots, X_n(x))$  – нелинейная вектор функция.

С этой целью построим функциональную матрицу сопряженной, относительно (1), системы (2)

$$(-\partial X_i / \partial x_k)_{k=1, \dots, n}^{i=1, \dots, n} \quad (4)$$

и ее транспонированную

$$(-\partial X_k / \partial x_i)_{k=1, \dots, n}^{i=1, \dots, n}$$

Затем построим матрицу

$$-0,5(\partial X_i / \partial x_k + \partial X_k / \partial x_i)_{i,k=1,\dots,n} \quad (5)$$

и учтем матрицу (39) из [1, с.611]

$$0,5(\partial X_i / \partial x_k + \partial X_k / \partial x_i)_{i,k=1,\dots,n}.$$

Непосредственно видно, что собственные значения этих матриц равны по модулю и противоположны по знаку и что собственные значения матрицы (5) вычисляются как решения уравнения

$$(\partial X_i / \partial x_k)_{k=1,\dots,n}^{i=1,\dots,n} \eta + (\partial X_i / \partial x_k)_{k=1,\dots,n}^{i=1,\dots,n} \eta = -2\lambda \eta;$$

последнее эквивалентно двум уравнениям

$$(-\partial X_i / \partial x_k)_{k=1,\dots,n}^{i=1,\dots,n} \eta = \lambda \eta$$

$$\text{и } (-\partial X_i / \partial x_k)_{k=1,\dots,n}^{i=1,\dots,n} \eta = \lambda \eta$$

в силу того, что матрицы

$$(-\partial X_i / \partial x_k)_{k=1,\dots,n}^{i=1,\dots,n} \text{ и } (-\partial X_i / \partial x_k)_{k=1,\dots,n}^{i=1,\dots,n}$$

имеют одни и те же собственные значения. Отсюда следует, что знаки собственных значений матрицы (5) и матрицы (4) одни и те же, а значит – для асимптотической устойчивости решения системы (38) из [1] необходимо, чтобы вещественные части собственных значений матрицы (4) были положительны при  $-\infty < x_i < \infty$ ,  $i = 1, \dots, n$ , а для матрицы (39) из [1, с.611] они отрицательны при  $-\infty < x_i < \infty$ . Однозначность соответствия результатов теоремы 1 авторов и теоремы 1 из [3, с. 611] установлена.

## Теорема 2

*Необходимыми и достаточными условиями устойчивости нелинейной системы с распределенными параметрами, описываемой нелинейным дифференциальным уравнением с частными производными*

$$\begin{aligned} & \frac{\partial^{m_0} u(x,t)}{\partial t^{(m_0)}} + \frac{\partial^{m_1} u(x,t)}{\partial x_1^{(m_1)}} + \dots \\ & + \frac{\partial^{m_n} u(x,t)}{\partial x_n^{(m_n)}} + f(u(x,t)) = 0, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $t$  – временная координата,  $x = (x_1, \dots, x_n) \in D^n$  – вектор фазовых координат,  $u(x,t)$  – подде-

жащая вычислению неизвестная функция,  $f(u(x,t))$  – заданная нелинейная функция, являются необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости решения нелинейного дифференциального уравнения с обыкновенными производными

$$U^{(m_0)}(p,t) + (ip_1)^{m_1} U(p,t) + \dots$$

$$+ (ip_n)^{m_n} U(p,t) + F(U(p,t)) = 0, \quad (7)$$

где  $w = (w_1, \dots, w_n)$  – вектор фазовых координат в частотной области,  $F(U(w,t))$  – образ Лапласа функции  $f(u(x,t))$ ,  $U(w,t)$  – образ Лапласа функции  $u(x,t)$ .

## Доказательство

Выполнив преобразование Лапласа уравнения (6)

$$\int_{D_n} \left( \int_{D_1} \left( \frac{\partial^{m_0} u(x,t)}{\partial t^{(m_0)}} + \frac{\partial^{m_1} u(x,t)}{\partial x_1^{(m_1)}} + \dots + \frac{\partial^{m_n} u(x,t)}{\partial x_n^{(m_n)}} + f(u(x,t)) \right) e^{x_1 p_1} dx_1 \dots \right) \times e^{x_n p_n} dx_n = 0.$$

получим автономное нелинейное дифференциальное уравнение с обыкновенными производными (7)

$$U^{(m_0)}(p,t) + (p_1)^{m_1} U(p,t) + \dots$$

$$+ (p_n)^{m_n} U(p,t) + F(U(p,t)) = 0,$$

$m_0$  – го порядка и приведем его к системе уравнений

$$\dot{U} = U_1, \dots,$$

$$\dot{U}_{m_0-1} = -(p_1)^{m_1} U - \dots - (p_n)^{m_n} U - F(U)$$

Теперь применим теорему 1 к этой системе, то есть построим для нее сопряженную систему

$$\dot{\xi} = \left( (p_1)^{m_1} + \dots + (p_n)^{m_n} + \frac{\partial F(U)}{\partial U} \right) \xi_{m_0-1},$$

$$\dots, \dot{\xi} = -\xi_{m_0-2},$$

и сформируем по теореме 1 необходимые и достаточные условия устойчивости исследуемой нелинейной системы.

В силу того, что преобразование Лапласа линейно и взаимно однозначно отображает пространство  $L_2(-\infty, \infty)$  на себя, а также того, что в соответствии с теоремой Планшереля [9, гл.8, п.5] норма  $\|u(t,x)\|_2$  функции-оригинала в пространстве фазовых координат уравнения (7) равна норме  $\|U(p,t)\|_2$  изображения в пространстве координат  $p_1, \dots, p_n$ , необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости решения  $u(x,t)$  исходного дифференциального уравнения (6) представляются необходимыми и достаточными условиями асимптотической устойчивости решения  $U(p,t)$  обыкновенного дифференциального уравнения (7).

Доказательство завершено.

### Теорема 3

*Необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости динамической системы, описываемой нелинейным векторным интегральным уравнением Вольтерра 2 рода*

$$x(t) = \int_0^t X(x(\tau))d\tau, \quad a \leq x \leq b, \quad (8)$$

*формируются как необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости решения векторного нелинейного дифференциального уравнения с обыкновенными производными*

$$\dot{x} = X(x(t)), \quad (9)$$

полученного из (8).

### Доказательство

Дифференцируя по верхнему пределу, в общем случае последовательно, заданное интегральное уравнение (8), получаем нелинейное однородное дифференциальное уравнение (9).

Так как оператор дифференцирования является линейным оператором [9,

гл.4, п.5], то решение обыкновенного дифференциального уравнения однозначно является решением исходного нелинейного уравнения Вольтерра 2 рода с точностью до константы, а значит – оно асимптотически устойчиво тогда и только тогда, когда асимптотически устойчиво решение уравнения (9).

Необходимые и достаточные условия устойчивости последнего устанавливаются по теореме 1.

Доказательство завершено.

### Выводы

Доказаны теоремы по обоснованию необходимых и достаточных условий асимптотической устойчивости нелинейных динамических систем, описываемых нелинейными системами автономных обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений с частными производными и интегральных нелинейных уравнений Вольтера 2 рода. В теоремах не используются функции Ляпунова.

### Библиографический список

1. Еругин, Н.П. Качественные методы в теории устойчивости / Н.П. Еругин // ПММ. – Т. XIX. – С. 599–615, 1955.
2. Красовский, Н.Н. Об одной задаче устойчивости движения в целом / Н.Н. Красовский // ДАН СССР, 1953. – Т. 88. – Вып. 3.
3. Первозванский, А.А. Квазилогические системы и их устойчивость / А.А. Первозванский // АиТ. – Вып. 5. – 1999. – С. 135–144.
4. Барбашин, Е.А. Введение в теорию устойчивости / Е.А. Барбашин. – М.: Наука, 1967.
5. Матросов, В.М. Метод векторных функций Ляпунова: анализ динамических свойств нелинейных систем / В.М. Матросов. – М.: Наука, 2001.
6. Бойков, И.В. Устойчивость решений дифференциальных уравнений / И.В. Бойков. – Пенза: Издательство Пензенского института, 2008.
7. Гантмахер, Ф.Р. Лекции по аналитической механике / Ф.Р. Гантмахер. – М.: Физматлит, 2001.
8. Сокольников, И.С. Тензорный анализ / И.С. Сокольников. – М.: Наука, 1971.
9. Колмогоров, А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа. 4-е изд. / А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. – М.: Наука, 1976.

## ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФАР МЕТОДОМ НЕПОДВИЖНОГО ЗОНДА

Д.Н. ЛЕСИН, инженер каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ,  
Н.И. ЛЕСИН, проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, *д-р техн. наук*

*lesin@mgul.ac.ru*

Оценка работоспособности современных фазированных антенных решеток (ФАР), насчитывающих тысячи излучателей, является сложной задачей. Использование для ее решения методов оценки работоспособности антенных систем по результатам измерений поля в ближней или промежуточной зонах [1, 2] требует значительных затрат времени и средств. Кроме того, этими методами трудно контролировать техническое состояние отдельных каналов ФАР, что актуально при ее настройке и эксплуатации. Поэтому в последнее время развиваются методы, которые учитывают структурные свойства ФАР, априорную информацию о характеристиках направленности и расположении излучателей, параметрах фазовращателей и т.п. К ним относятся модуляционный [3, 4] и коммутационный [5] методы, составляющие основу метода неподвижного зонда. В процессе эксплуатации ФАР из-за колебаний температуры окружающей среды, изменения геометрии решетки, отказов элементов, технологического разброса характеристик фазовращателей и др. амплитудные и фазовые характеристики каналов ФАР будут отличаться от расчетных значений и иметь случайную природу. Поэтому представляет интерес оценить влияние погрешностей измерений амплитудных и фазовых характеристик каналов ФАР методом неподвижного зонда на достоверность контроля ее работоспособности.

В качестве показателя достоверности контроля будем использовать вероятность принятия правильного решения. Методами теорий вероятностей, контроля и принятия решений несложно получить выражение для вероятности принятия правильного решения о работоспособности ФАР

$$P_{np} = 1 - P\left(\bigcap_{i=1}^n (\Omega_{A_i} \cap \Omega_{\varphi_i})\right) - P\left(\bigcap_{i=1}^n (\bar{\Omega}_{\bar{A}_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{\varphi}_i})\right) +$$

$$+ 2P\left(\bigcap_{i=1}^n (\Omega_{A_i} \cap \Omega_{\varphi_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{A}_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{\varphi}_i})\right), \quad (1)$$

где  $\Omega_{A_i}$  и  $\Omega_{\varphi_i}$  и  $\bar{\Omega}_{\bar{A}_i}$  и  $\bar{\Omega}_{\bar{\varphi}_i}$  – определенные области пространства параметров (амплитуд и фаз возбуждения  $i$ -го канала ФАР и их оценок с помощью метода неподвижного зонда соответственно), отнесенные к  $i$ -му виду технического состояния ФАР;  $n$  – количество каналов в ФАР.

Если амплитуды и фазы возбуждения каналов ФАР и их оценки статистически независимы, то выражения для

$$P\left(\bigcap_{i=1}^n (\Omega_{A_i} \cap \Omega_{\varphi_i})\right), \quad P\left(\bigcap_{i=1}^n (\bar{\Omega}_{\bar{A}_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{\varphi}_i})\right)$$

$$\text{и } P\left(\bigcap_{i=1}^n (\Omega_{A_i} \cap \Omega_{\varphi_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{A}_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{\varphi}_i})\right)$$

можно записать в виде

$$P\left(\bigcap_{i=1}^n (\Omega_{A_i} \cap \Omega_{\varphi_i})\right) = \prod_{i=1}^n \int_{a_{i1}}^{a_{i2}} \int_{\varphi_{i1}}^{\varphi_{i2}} f(A_i, \varphi_i) dA_i d\varphi_i,$$

$$P\left(\bigcap_{i=1}^n (\bar{\Omega}_{\bar{A}_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{\varphi}_i})\right) = \prod_{i=1}^n \int_{\bar{a}_{i1}}^{\bar{a}_{i2}} \int_{\bar{\varphi}_{i1}}^{\bar{\varphi}_{i2}} f(\bar{A}_i, \bar{\varphi}_i) d\bar{A}_i d\bar{\varphi}_i,$$

$$P\left(\bigcap_{i=1}^n (\Omega_{A_i} \cap \Omega_{\varphi_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{A}_i} \cap \bar{\Omega}_{\bar{\varphi}_i})\right) = \prod_{i=1}^n \int_{a_{i1}}^{a_{i2}} \int_{\varphi_{i1}}^{\varphi_{i2}} \int_{\bar{a}_{i1}}^{\bar{a}_{i2}} \int_{\bar{\varphi}_{i1}}^{\bar{\varphi}_{i2}} f(A_i, \varphi_i, \bar{A}_i, \bar{\varphi}_i) dA_i d\varphi_i d\bar{A}_i d\bar{\varphi}_i,$$

где  $f(A_i, \varphi_i)$ ,  $f(\bar{A}_i, \bar{\varphi}_i)$  и  $f(A_i, \varphi_i, \bar{A}_i, \bar{\varphi}_i)$  – совместные плотности распределения вероятностей амплитуд и фаз возбуждения  $i$ -го канала ФАР и их оценок с помощью метода неподвижного зонда соответственно;  $a_{i1}$ ,  $a_{i2}$ ,  $\varphi_{i1}$ ,  $\varphi_{i2}$ ,  $\bar{a}_{i1}$ ,  $\bar{a}_{i2}$ ,  $\bar{\varphi}_{i1}$ ,  $\bar{\varphi}_{i2}$ , – нижние и верхние допустимые значения на амплитуды и фазы возбуждения  $i$ -го канала ФАР и на их оценки соответственно.

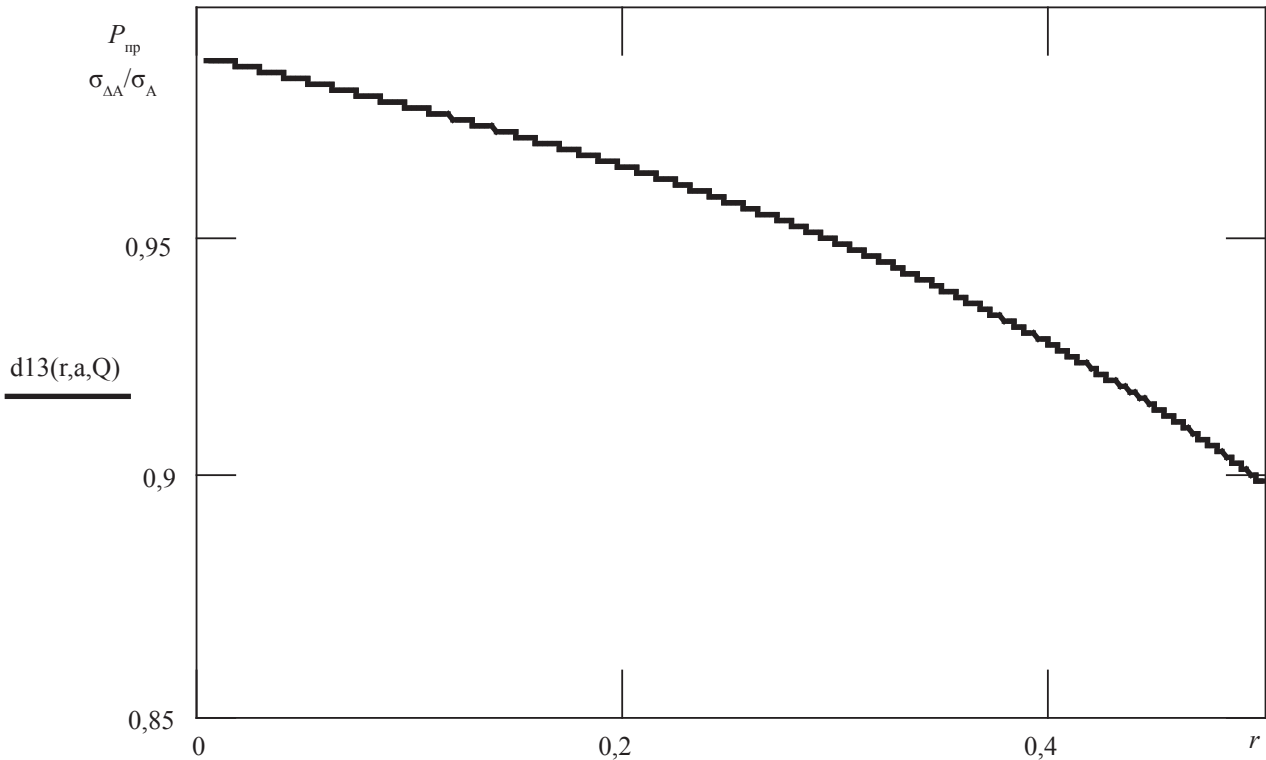


Рис. 1. Зависимость вероятности принятия правильного решения от относительных погрешностей оценки контролируемых параметров каналов ФАР с помощью метода неподвижного зонда при  $n = 8$ ,  $\Delta/\sigma_A = \Delta/\sigma_\varphi = 3$ ,  $\Delta = (a_2 - a_1) = (\varphi_2 - \varphi_1) = (\bar{a}_2 - \bar{a}_1) = (\bar{\varphi}_2 - \bar{\varphi}_1)$  и  $\sigma_{\Delta A} / \sigma_A = \sigma_{\Delta\varphi} / \sigma_\varphi$

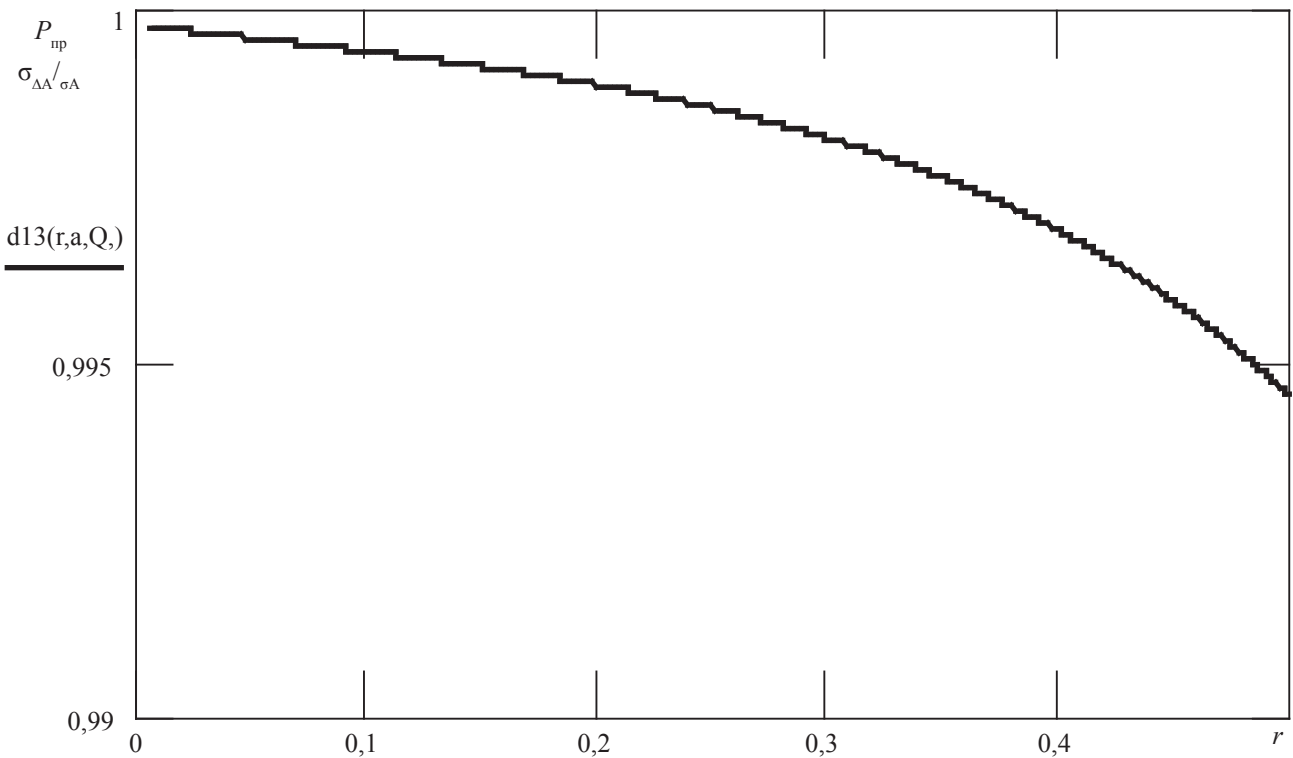


Рис. 2. Зависимость вероятности принятия правильного решения от относительных погрешностей оценки контролируемых параметров каналов ФАР с помощью метода неподвижного зонда при  $n = 8$ ,  $\Delta/\sigma_A = \Delta/\sigma_\varphi = 4$ ,  $\Delta = (a_2 - a_1) = (\varphi_2 - \varphi_1) = (\bar{a}_2 - \bar{a}_1) = (\bar{\varphi}_2 - \bar{\varphi}_1)$  и  $\sigma_{\Delta A} / \sigma_A = \sigma_{\Delta\varphi} / \sigma_\varphi$



Если погрешности оценки амплитуды ( $\Delta A_i$ ) и фазы возбуждения ( $\Delta \varphi_i$ )  $i$ -го канала ФАР с помощью метода неподвижного зонда аддитивны, то

$$\bar{A}_i = A_i + \Delta A_i \text{ и } \bar{\varphi}_i = \varphi_i + \Delta \varphi_i.$$

Результаты вычислений вероятности принятия правильного решения о работоспособности ФАР для случая, когда контролируемые амплитуды и фазы возбуждения каналов ФАР и погрешности их оценки соответственно взаимно независимы и подчиняются нормальному закону распределения, приведены на рис. 1, 2

Анализ полученных результатов показывает, что уменьшение относительных погрешностей измерений контролируемых параметров каналов ФАР  $\sigma_{\Delta A} / \sigma_A$ , для фиксированного критерия отказа и неизменных значений допусков на них  $\Delta / \sigma_A$  и числа каналов в ФАР приводит к увеличению вероятности принятия правильного решения. При неизменных значениях числа каналов в ФАР и относительных погрешностей измерений их контролируемых параметров увеличение до-

пусков на контролируемые параметры приводит к увеличению вероятности принятия правильного решения.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке фазированных антенных решеток, систем контроля их работоспособности и диагностирования с помощью метода неподвижного зонда.

### Библиографический список

1. Методы измерения характеристик антенн СВЧ. Под ред. Н.М. Цейтлина. – М.: Радио и связь, 1985. – 368 с.
2. Лесин, Н.И. Оценка технического состояния антенных систем по результатам измерений поля в ближней зоне с учетом методических погрешностей / Н.И. Лесин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 1 (21). – С. 129–133.
3. Пат. 3378846 (США). Способ контроля фазированных антенных решеток и аппаратура для его осуществления. – Оpubл. 16.04.1968.
4. Авторское свидетельство 1666979 (СССР). Способ контроля работоспособности фазированной антенной решетки. – Оpubл. 30.07.1991. Бюл. 28.
5. Бубнов, Г.Г. Коммутационный метод измерения характеристик ФАР / Г.Г. Бубнов, С.М. Никулин, Ю.Н. Серяков, С.А. Фурсов. – М.: Радио и связь, 1988. – 120 с.

## НАЗНАЧЕНИЕ ДОПУСКОВ НА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ФАР

Д.Н. ЛЕСИН, инженер каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ,  
Н.И. ЛЕСИН, проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук

[lesin@mgul.ac.ru](mailto:lesin@mgul.ac.ru)

**В** процессе испытаний и эксплуатации фазированных антенных решеток (ФАР) за счет внешних воздействующих факторов, старения и др. элементы последних могут терять работоспособность, что приводит к ухудшению их технических характеристик. Поэтому при оценке технического состояния ФАР по параметрам поля в ближней зоне с целью определения работоспособности и локализации отказавших излучателей необходимо решить задачу обоснования допусков на результаты измерений параметров поля в ближней зоне. Если истинные значения амплитуд и фаз поля в ближней зоне

известны, то задача обоснования допусков на результаты измерений параметров поля сводится к задаче назначения допусков на погрешности измерений параметров поля в ближней зоне. Назначение допусков на случайные погрешности измерений проводят исходя из требуемой точности определения основных тактико-технических характеристик ФАР [1].

Известно [1, 2], что погрешность оценки направления главного максимума диаграммы направленности ФАР существенно влияет на точность оценки угловых координат радиоэлектронных систем с ФАР. Поэтому

при обосновании допусков на погрешности измерений параметров ближнего поля будем исходить из требуемой точности определения направления главного максимума ФАР. В [2] показано, что точность оценки направления главного максимума ФАР определяется выражением

$$\sigma^2 \{ \Delta \Psi_{X_M} \} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^M A_{nm0} A_{pq0} n \cdot p \{ \sigma_A^2 \alpha_{nprmq} S + \sigma_\phi^2 \beta_{nprmq} B \}}{\sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^M A_{nm0} A_{pq0} (K \Delta x)^2 n^2 p^2 \ell^{-\sigma_\phi^2} B} \quad (1)$$

где  $A_{nm0}$ ,  $A_{pq0}$ ,  $\phi_{nm0}$ ,  $\phi_{pq0}$  – значения амплитуд и фаз поля в отсутствии погрешностей измерений;

$\sigma_A$ ,  $\sigma_\phi$  – погрешности измерений амплитуд и фаз поля в ближней зоне ФАР;

$\alpha_{nprmq}$ ,  $\beta_{nprmq}$  – коэффициенты корреляции амплитудных и фазовых погрешностей измерений;

$$B = \cos \phi_{nm0} \cos \phi_{pq0}; S = \sin \phi_{nm0} \sin \phi_{pq0};$$

$N$ ,  $M$  – количество точек на измерительной поверхности по осям  $x$  и  $y$  соответственно;

$\Delta x$  – интервал измерения параметров поля в ближней зоне ФАР;

$k$  – волновое число.

После несложных преобразований выражение (1) приведем к виду

$$\frac{\sigma_\phi^2}{\alpha_\phi^2} + \frac{\sigma_A^2}{\alpha_A^2} = 1, \quad (2)$$

где

$$\alpha_\phi^2 = \frac{\sigma^2 \{ \Delta \Psi_{X_M} \} \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^M A_{nm0} A_{pq0} (K \Delta x)^2 n^2 p^2 \ell^{-\sigma_\phi^2} B}{\sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^M A_{nm0} A_{pq0} n \cdot p \{ \sigma_\phi^2 \beta_{nprmq} B \}}$$

$$\alpha_A^2 = \frac{\sigma^2 \{ \Delta \Psi_{X_M} \} \sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^M A_{nm0} A_{pq0} (K \Delta x)^2 n^2 p^2 \ell^{-\sigma_\phi^2} B}{\sum_{n=1}^N \sum_{p=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{q=1}^M A_{nm0} A_{pq0} n \cdot p \{ \sigma_A^2 \alpha_{nprmq} S \}}$$

Выражение (2) представляет собой уравнение эллипса с полуосями  $\alpha_\phi$  и  $\alpha_A$ . Из

формул для  $\alpha_\phi$  и  $\alpha_A$  следует, что они зависят от требуемой точности определения направления главного максимума ФАР, размеров области измерения и интервала между отсчетами ближнего поля, а также от коэффициентов корреляции погрешностей измерений амплитуд и фаз поля в ближней зоне. Заметим, что если коэффициенты корреляции амплитудных и фазовых погрешностей измерений одинаковы и

$$\phi_{nm0} = \phi_{pq0} = \pi/4,$$

то  $\alpha_\phi$  практически равно  $\alpha_A$  и эллипс вырождается в окружность. Кроме того, если все значения погрешностей измерений амплитуд и фаз поля в ближней зоне имеют координаты, которые лежат внутри эллипса, то это значит, что в данном случае обеспечивается заданная точность определения направления главного максимума ФАР.

В противном случае заданная точность не обеспечивается и соответствующие ей значения погрешностей измерений амплитуд и фаз поля в ближней зоне не являются допустимыми.

Как показывают расчеты, для обеспечения требуемой точности оценки направления главного максимума диаграммы направленности ФАР, равной, например 0,0038, необходимо, чтобы допуски на погрешности измерений амплитуд и фаз поля в ближней зоне не превышали 0,25 и 0,14 соответственно при

$$\alpha_{np} = \alpha_{mq} = 0,7, \beta_{np} = \beta_{mq} = 0,6,$$

$$N = M = 24, \Delta x = \Delta y = \lambda/2, \phi_{nm0} = \phi_{pq0} = 45^\circ$$

и равномерном распределении поля вдоль раскрыва ФАР.

### Библиографический список

1. Васин, В.В. Радиолокационные устройства (теория и принципы построения) / В.В. Васин, О.В. Власов и др. – М.: Сов. радио, 1970. – 680 с.
2. Лесин, Н.И. Точность оценки направления главного максимума диаграммы направленности антенных систем / Н.И. Лесин. – Тр. 3-ей Международной научно-технической конференции «Микроэлектроника и информатика». – 1997. – С. 94–95.

## ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В.С. РЕТИНСКИЙ, проф. каф. прикладной математики и компьютерного моделирования НИУ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, д-р техн. наук,

И.В. РЕТИНСКАЯ, проф. каф. прикладной математики и компьютерного моделирования НИУ РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина д-р техн. наук,

Е.Г. ГРИДИНА, проф., зам. директора ФГАУ «Государственный научно-исследовательский институт информационных технологий и телекоммуникаций», д-р техн. наук

*gridina@informika.ru*

**П**роблема моделирования и управления динамикой работы сложных систем сетевого типа с распределенными параметрами (ССРП) так или иначе сводится к совместному решению системы, включающей дифференциальные уравнения в частных производных, описывающие процессы для участков системы и уравнения сопряжения параметров в ее узлах [1]. При моделировании систем длинных линий, газотранспортных систем, систем распространения тепла и т.п. с линейными дифференциальными уравнениями возникает задача поиска неизвестных временных функций граничных условий для участков сети. Указанные параметры в реальных системах недоступны для измерений. Аналогичная задача возникает как вспомогательная в задачах управления ССРП.

Рассмотрим ССРП с потоками и потенциалами, описываемыми для участка  $ik$  параболической системой уравнений [2]

$$\begin{cases} \frac{\partial P_{ik}(x,t)}{\partial x} = A_{ik} Q_{ik}(x,t) \\ \frac{\partial P_{ik}(x,t)}{\partial t} = B_{ik} \frac{\partial^2 P_{ik}(x,t)}{\partial x^2} \end{cases} \quad (1)$$

где  $A, B$  – параметры участка;

$P, Q$  – потенциал и поток некоей субстанции.

Система (1) описывает множество процессов. Среди них нестационарные процессы в электрических и электронных длинных линиях; процессы инерционного теплопереноса в конечномерных стержнях с теплоизоляцией боковых поверхностей; одномерное неустан-

новившееся турбулентное изотермическое течение идеального газа по горизонтальному участку газопровода с дозвуковыми скоростями; одномерное неустановившееся изотермическое ламинарное течение жидкости по горизонтальному участку продуктопровода (гидроудар).

Задача моделирования нестационарных режимов работы ССРП формулируется следующим образом.

Пусть в начальный момент времени  $t=0$  заданы функции потенциала вдоль всех линейных участков. Например, пусть система работала для  $t < 0$  в стационарном режиме. В моменты  $t > 0$  на ее свободных узлах задаются временные функции потока или потенциала, в узлах сосредоточенного отбора или подачи – временные функции потока. Необходимо для  $t > 0$  для любого участка и любой координаты ССРП получить временные функции потенциала и потока.

Представим сеть в виде графа с множеством номеров вершин  $\Lambda$ . За  $\lambda i$  обозначим множество номеров вершин, связанных ребром с вершиной  $i$ . Пусть  $\Omega \in \Lambda$  – множество номеров вершин, в которых сходятся более одной дуги.  $\Omega^* \in \Lambda$  – номера вершин, в которые входит или из которых выходит только одна дуга. Множеством  $\Omega^*$  назовем номера свободных узлов графа. Обозначим  $\Omega$  от множество номеров вершин из  $\Omega$ , которое соответствует узлам с сосредоточенными отборами субстанции, а  $\Omega$  под – узлам с сосредоточенными подачами субстанции. Пусть  $\Omega^*q$  и  $\Omega^*p$  – множество номеров свободных узлов с заданными временными

функциями соответственно потока и потенциала.

Таким образом, задача моделирования или воспроизведения нестационарных режимов работы ССРП сводится к решению замкнутой системы, в которую входят:

- преобразованные линейные дифференциальные уравнения вида (1);
- уравнения баланса потока в узлах:

$$\sum_k Q_{jk}(0,t) - \sum_i Q_{ij}(l_{ij},t) = \Phi_j(t), \quad (2)$$

$$i, k \in \lambda_j;$$

$$\Phi_j(t) = \begin{cases} +u_j, & j \in (\Omega_{om} \cup \Omega_q^*) \\ -u_j, & j \in (\Omega_{nod} \cup \Omega_q^*) \\ 0, & j \notin (\Omega_{kc} \cup \Omega_{om} \cup \Omega_{nod}) \end{cases},$$

где  $uj(t)$  – заданные функции потока, соответствующие сосредоточенным отборам или подачам субстанции в узлах  $j$ ;

- равенства значений потенциалов в узлах сети для истоков и стоков линейных участков, сходящихся в них

$$P_{jk}(0,t) = P_{nj}(l_{jn},t),$$

$$j \in (\Omega \cup \Omega_p^*); k, n \in \lambda_j. \quad (3)$$

Для поиска значений потенциала и потока для любого участка любого сечения для некоторого момента в качестве неизвестных можно рассматривать в системе (1–3) как функции потенциала, так и функции потока в начальных ( $x = 0$ ) и конечных ( $x = l_{ik}$ ) сечениях каждого участка  $ik$ . По найденным функциям с учетом (1) можно найти потенциалы и потоки для любого сечения участка  $ik$ . В принятых обозначениях ищется или  $P_{ik}(z_{ik},t)$ , или  $Q_{ik}(z_{ik},t)$ , когда  $z_{ik} = l_{ik}$  или  $z_{ik} = 0$ .

Трудности решения системы (1–3) обусловлены наличием системы дифференциальных уравнений в частных производных с неизвестными функциями граничных условий; неизвестных функций граничных условий; большой размерности при моделировании реальных ССРП.

Предлагается решать систему (1–3) операционным методом, основанным на ис-

пользовании идей прямого и численного обратного преобразования Лапласа.

Для того чтобы в систему (1–3) входили только потенциалы в узлах системы или потоки для конечных сечений линейных участков, необходимо в (2) и (3) подставить решение (1) для каждого участка  $ik$  сети, выраженное через эти функции. В общем случае, чтобы использовать решение (1) в других уравнениях системы, необходимо решать (1) для граничных условий

- а)  $P_{ik}(0,t); P_{ik}(l_{ik},t)$ ;
  - б)  $P_{ik}(0,t); Q_{ik}(l_{ik},t)$ ;
  - в)  $Q_{ik}(0,t); P_{ik}(l_{ik},t)$ ;
  - г)  $Q_{ik}(0,t); Q_{ik}(l_{ik},t)$ .
- (4)

Начальными условиями решения (1) для каждого участка будет функция изменения потенциала вдоль него для  $t=0$ . Если система для  $t=0$  находилась в стационарном режиме, то пусть начальное условие для решения участка  $ik$  определяется как линейная функция

$$P_{ik}(x,0) = P_{ik}(0,0) + A_{ik} \cdot x \cdot Q_{ik}(0,0), \quad (5)$$

$$0 \leq x \leq l_{ik}$$

Найдем решение (1) с начальными условиями (5) и граничными условиями (4). Для этого применим преобразование Лапласа с последующим решением обыкновенного дифференциального уравнения для образа функции потенциала. Тогда для каждого вида условий (4) получим изображение функции потенциала  $p_{ik}(x,s)$  через изображения функций граничных условий и параметров начальных (здесь и далее изображения функций представлены строчными знаками, имеющие аргументом  $s$ ). Например, для условия а) имеем

$$p_{ik}(x,s) = \frac{P_{ik}(x,0)}{s} +$$

$$+(p_{ik}(0,s) - \frac{P_{ik}(0,0)}{s}) \operatorname{ch}(\beta x) +$$

$$s \cdot p_{ik}(l_{ik}, s) + P_{ik}(0, 0) \operatorname{ch}(\beta l_{ik}) -$$

$$-s \cdot p_{ik}(0, s) \operatorname{ch}(\beta l_{ik}) -$$

$$P_{ik}(l_{ik}, 0) \frac{\operatorname{sh}(\beta x)}{s \cdot \operatorname{sh}(\beta l_{ik})},$$

где

$$\beta = \sqrt{\frac{s}{B_{ik}}}. \quad (6)$$

Аналогично и для других видов граничных условий можно получить выражения типа (6) линейные относительно образов функций граничных условий потенциала или потока, которые связаны в виде

$$q_{ik}(x, s) = \frac{1}{A_{ik}} \frac{\partial p_{ik}(x, s)}{\partial x}.$$

В общем случае систему относительно образов можно представить в виде

$$\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}(s) \cdot y_j(s) = b_i(s) \quad i=1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$y_j(s) = \begin{cases} p_{jk}(0, s) = p_{rj}(l_{rj}, s) \\ q_{jk}(0, s), q_{jk}(l_{jk}, s) \end{cases}$$

$$k, r \in \lambda j.$$

Решение (7) дает изображение функций  $Y_j(t)$ . Практически все традиционные методы обратного преобразования Лапласа требуют представления изображения в виде явных функций. Даже если бы эти изображения были бы получены в квадратурах, восстановление оригинала связано с определенными трудностями, так как изображения не имеют канонических форм, удобных для осуществления обратного преобразования Лапласа. Более того, применение теоремы Хевисайда также не дает возможности проводить такое восстановление из-за необходимости искать корни весьма громоздких и оригинальных для каждой топологии сети трансцендентных уравнений.

Исходя из этого становится необходимым применение численных методов обратного преобразования Лапласа.

Проблему восстановления оригиналов по изображениям, являющимся решением

систем линейных уравнений, будем решать методом, базирующимся на разложении оригинала в ряд Фурье по ортогональной системе функций [3]. Суть подхода такова.

Пусть задано изображение  $f(s)$  некой функции, представленной в виде

$$F(t) = \beta(t) \cdot z(t),$$

то есть

$$f(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot F(t) dt.$$

Искомая функция  $z(t)$  интегрируема на конечном отрезке  $[0, T]$  и принадлежит классу  $L_2(\beta(t), 0, \infty)$ . Требуется по  $f(s)$  вычислить значения  $z(t)$  для  $t \in [0, T]$ . В силу наложенных условий на  $z(t)$  и  $\beta(t)$  можно вычислить «взвешенные моменты» функции  $z(t)$  как

$$\mu_k = \int_0^{\infty} f(t) t^k dt \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Теперь найдем значение  $F(t)$  по  $\mu_k$  или, что то же самое, найти значения  $z(t)$  по значениям  $f(s)$  в целочисленных точках. Упростим задачу и найдем по первым  $n + 1$  «взвешенным моментам» некий многочлен

$$W_n(e^{-t}) = \sum_{k=0}^n c_k e^{-kt}$$

такой, что его «взвешенные моменты» совпадали бы с заданными значениями  $\mu_k$ , то есть чтобы выполнялось условие

$$w_n(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} \cdot z(t) \cdot \beta(t) dt,$$

где  $w_n(s)$  изображение  $W_n(e^{-t})$ . В [2] показано, что если  $r_k(e^{-t})$   $k = 0, 1, 2, 3, \dots$  система многочленов, ортонормированных для аргумента  $e^{-t}$  на конечном отрезке  $[0, 1]$  по весу  $e^t \beta(t)$ , то конечную сумму  $n + 1$  членов ряда

$$W_n(e^{-t}) = \sum_{k=0}^n c_k r_k(e^{-t}),$$

где

$$c_k = \int_0^{\infty} e^t \cdot z(t) \cdot \beta(t) \cdot r_k(e^{-t}) dt$$

можно рассматривать как наилучшее приближение  $z(t)$  на множестве многочленов степени не выше  $n$ . Наиболее экономичные вычислительные процедуры получаются, если разло-

жение ведется по смещенным ортогональным многочленам Якоби. Если в качестве весовой функции взять функцию  $\beta(t) = e^{-t}$ , то разложение, например функции  $P_{ij}(0,t)$ , будет осуществляться с использованием системы смещенных многочленов Лежандра, которое имеет вид [2]

$$P_{ij}(0,t) = \sum_{k=0}^{\infty} (2k+1) \left( \sum_{m=0}^k v_{km} e^{-mt} \right) \times$$

$$\times \left( \sum_{m=0}^k v_{km} P_{ij}(0,m+1) \right)$$

$$v_{km} = (-1)^{k+m} \prod_{n=1}^m \frac{(k-n+1)(k+n)}{n^2} \quad m \neq 0$$

$$v_{k0} = (-1)^k, \quad (8)$$

$p_{ij}(0,s+1)$  – изображение функции  $e^{-t} P_{ij}(0,t)$ . Элементы  $p_{ij}(0,s)$  для (8) и  $s = 1, 2, 3, \dots$  берут-

ся как решения системы (7) для тех же значений  $s$ .

Таким образом, задача моделирования сетей с распределенными параметрами и линейными дифференциальными уравнениями, описывающими процессы участков, может сводиться к решениям системы линейных алгебраических уравнений размерностью равной числу узлов системы для поиска «взвешенных моментов» численного обратного преобразования Лапласа.

### Библиографический список

1. Ретинский, В.С. Компьютерный мониторинг динамических процессов в сетях с распределенными параметрами / В.С. Ретинский // Информационные технологии, 2007. – № 9. – С. 9–13.
2. Воеводин, А.Ф. Методы решения одномерных эволюционных систем / А.Ф. Воеводин, С.М. Шугрин. – М.: Наука, 1993. – 229 с.
3. Суетин, А.М. Классические ортогональные многочлены / А.М. Суетин. – М.: Наука, 1983. – 327 с.

## АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ

И.Е. ШУСТОВ, *асп. нач. сектора ФГУП «ЦЭНКИ» филиала НИИ ПМ имени академика В.И. Кузнецова,*

С.А. ГАМКРЕЛИДЗЕ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук,*  
П.А. ТАРАСЕНКО, *доц. каф. ИИСиТП МГУЛ, канд. техн. наук*

*shustov\_igor@mail.ru, info@niipm.ru*

В настоящее время предъявляются повышенные требования к системам управления космических аппаратов (КА) специального назначения, способным длительное время находиться в автономном полете в орбитальной или инерциальной ориентациях с высокой точностью без коррекции по звездным или иным датчикам (уход базиса не превышает 0,1 угл. град. за сутки) [1].

Задача сохранения ориентации с высокой точностью решается с помощью прецизионных ГИВУС, построенных на базе поплавковых гироскопов с магнитной разгрузкой поплавка и газодинамической опорой ротора, предназначенных для измерения проекций вектора абсолютной угловой скорости основания на свои оси чувствительности.

Это качество имеет большое значение как для спутников связи, так и для космических телескопов или спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Для этих спутников большую важность имеет такой параметр ГИВУС, как шумовая составляющая в выходной информации. Эта характеристика напрямую связана с возможностью точного нацеливания объекта телескопа или камеры на исследуемый объект, а также с качеством получаемого изображения.

В частности, для высокоточных космических телескопов, например «Спектр-УФ», разработки НПО им. С.А. Лавочкина, «шум» в выходной информации прибора на уровне  $\pm 0,15$  угл. с. является недопустимым.

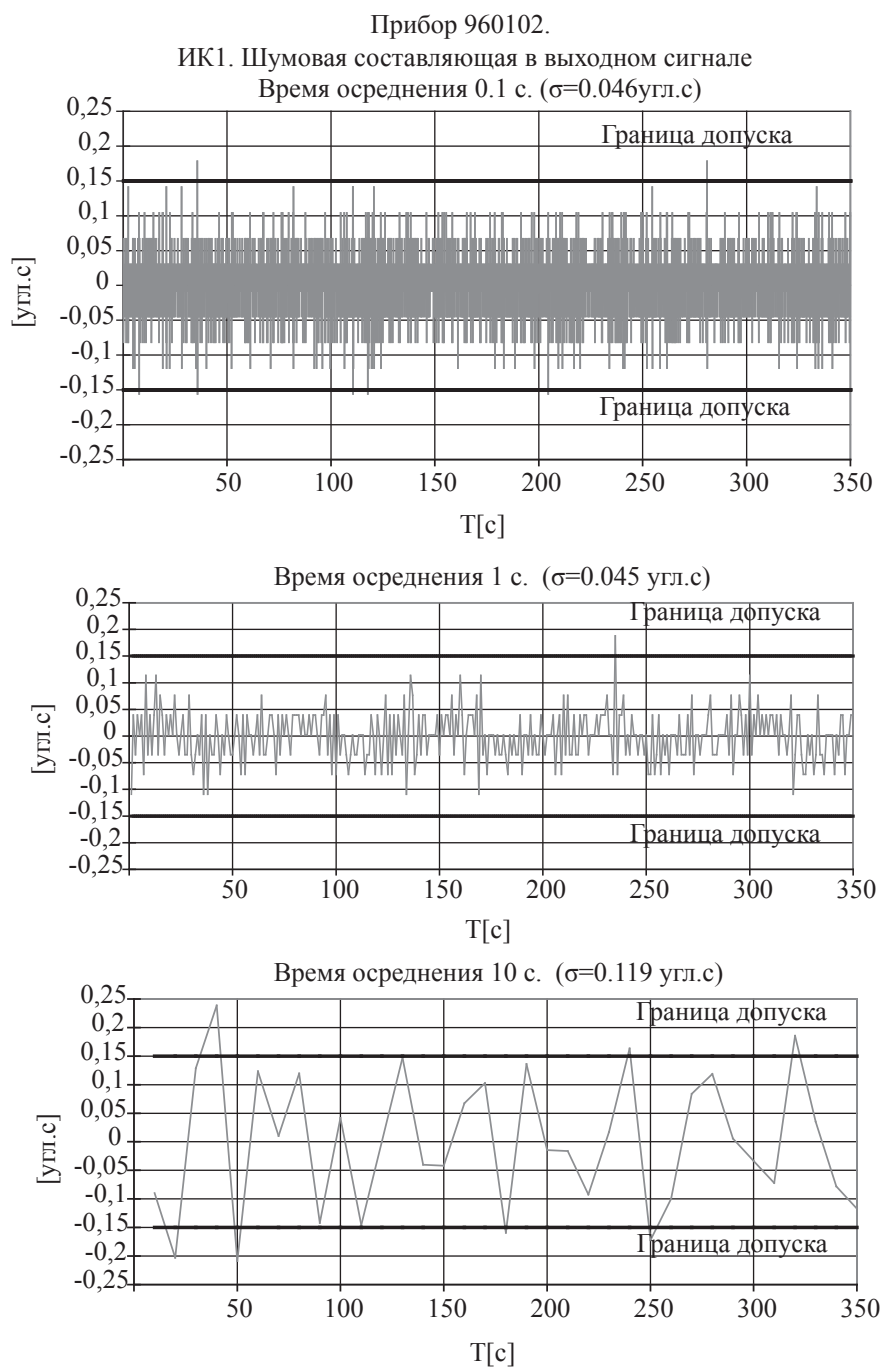


Рис. 1. Информация с прототипа новых приборов

Хотя характеристики поплавковых ГИВУС, используемых в настоящее время, находятся на достаточно высоком уровне, некоторые из них уже сейчас нуждаются в усовершенствовании в связи с повышающимися требованиями к приборам подобного класса.

Можно выделить основные причины возникновения «шума» в выходной информации измерительного канала (ИК) ГИВУС:

- наличие высокочастотных сигналов в системе ИК;

- тепловые процессы в ИК;

- электромеханические процессы в ИК.

Таким образом, основываясь на опыте длительной эксплуатации поплавковых приборов, можно наметить основные пути доработки ГИВУС с целью его улучшения в части понижения уровня «шумов» в выходной информации измерительного канала (ИК):

- понижение частот функционирования электронных устройств ИК;

Макет ИК прибора КИНД34-064.  
Шумовая составляющая. Файл 064\_shu1.  
Такт опроса 0,1 с.

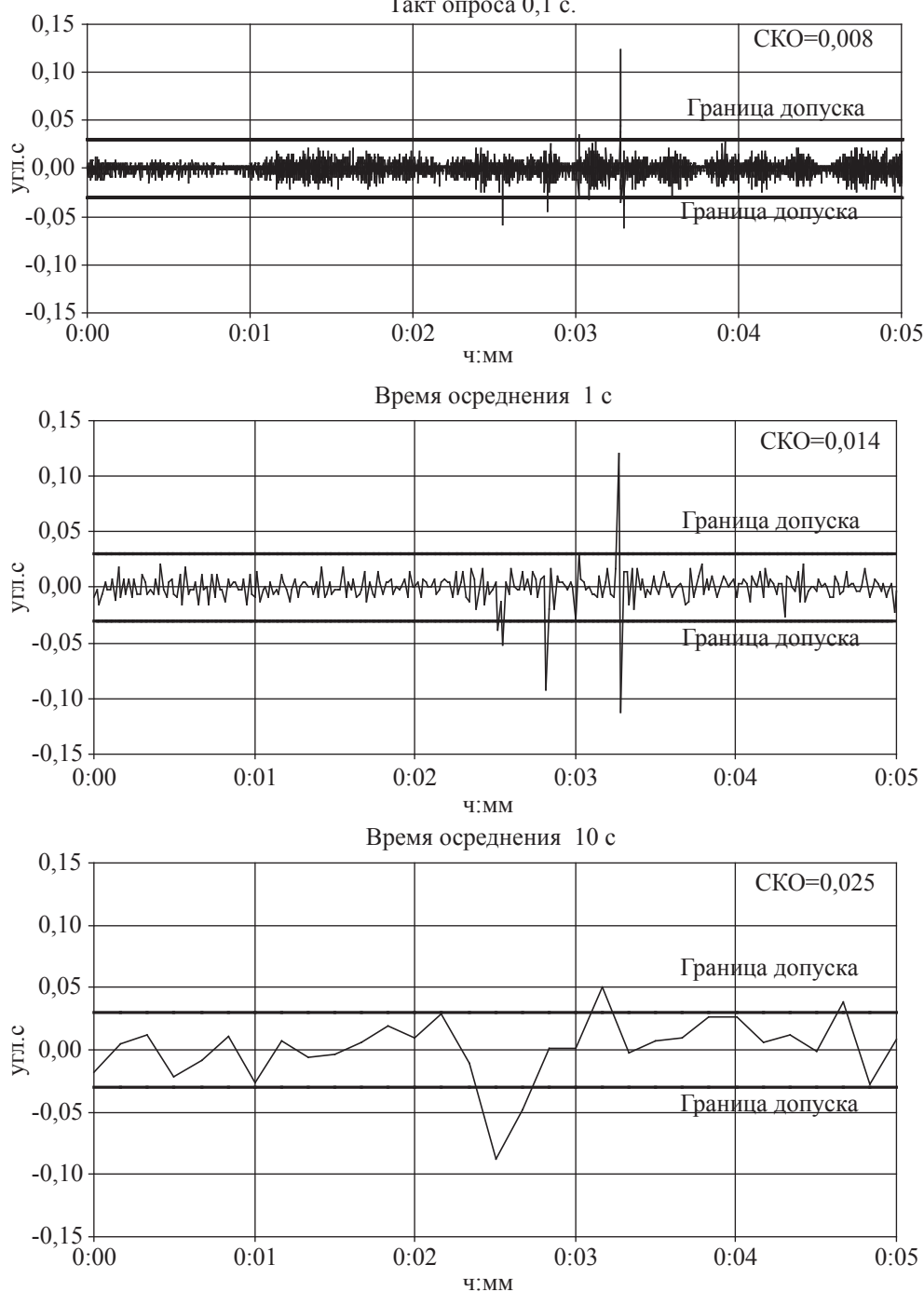


Рис. 2. Информация с лабораторной модели нового прибора с пониженной частотой среза (модификация 1)

- понижение частоты среза системы обратной связи ИК в 5 раз;
- синхронизация и кратность всех частот в ИК прибора;
- переводение системы термостатирования ИК с релейного на линейный режим работы;

- понижение цены дискрета выходной информации на порядок.

Все указанные мероприятия, согласно предварительной оценке, позволят понизить величину шумовой составляющей в выходной информации ИК примерно в 3–5 раз.[1]



Макет ИК прибора КИНД34-067  
Шумовая составляющая. Файл 067\_03.txt  
Такт опроса 0,1 с

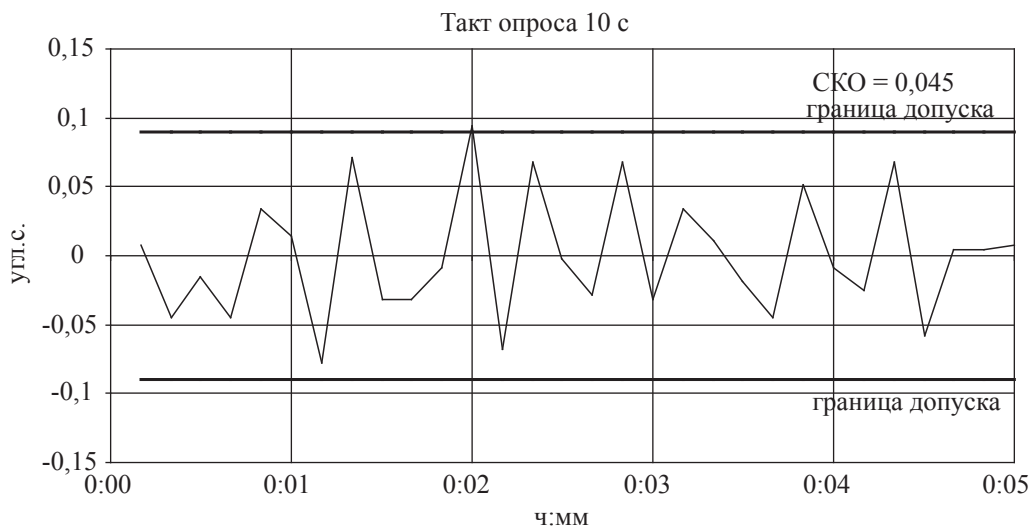
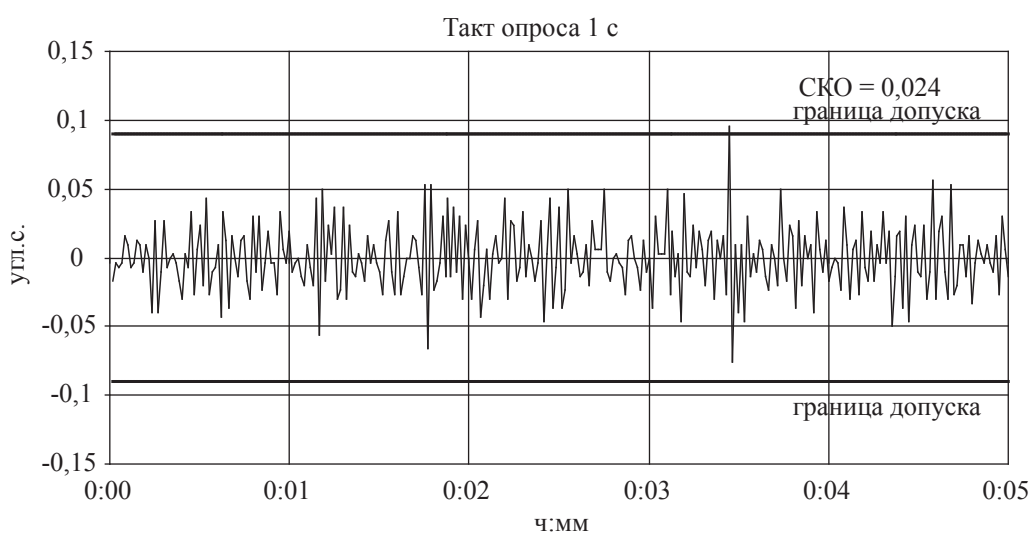
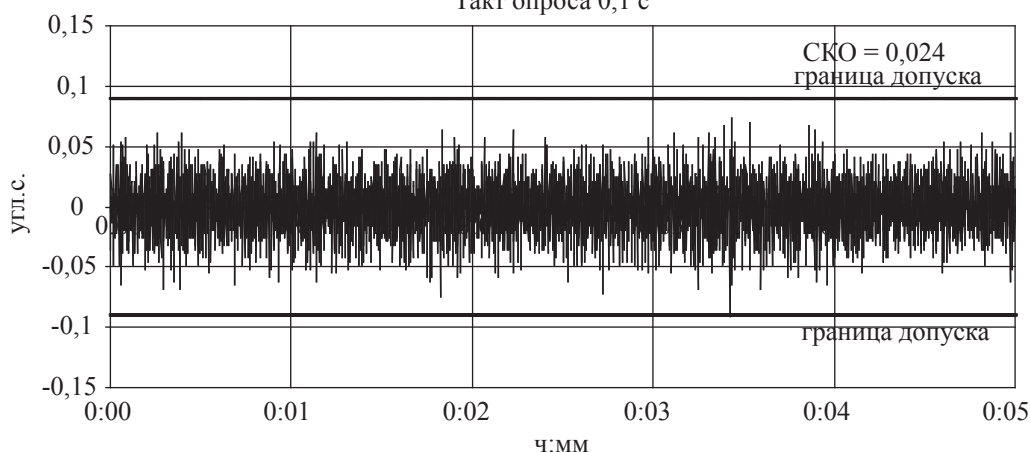


Рис. 3. Информация с лабораторной модели нового прибора (модификация 2)

С целью отработки принципов действия нового прибора и подтверждения некоторых заявленных точностных характеристик до изготовления штатных образцов, были

изготовлены одноканальные лабораторные модели двух модификаций этого прибора. На этих моделях, по принципу действия и основным точностным характеристикам практи-

**Сравнительный анализ точностных характеристик приборов**

Характеристики	Прототип	Модификация 1	Модификация 2
1. Диапазон измерения входной угловой скорости, °/с	0,5	2,0	2,0
2. Цена дискрета младшего разряда информации, угл. с.	0,036	0,004	0,004
3. Стабильность нулевого сигнала за 24 часа при измеряемой скорости, не превышающей 0,1 °/с, °/ч	0,003	0,0007	0,0007
4. Шум, угл.с (σ)	±0,15	0,03	0,09
5. Частота среза измерительной системы, Гц	8–10	1,5–2,5	8–10

чески не отличающихся от штатных приборов, была измерена шумовая составляющая в выходной информации ИК.

Измерение шумовой составляющей проводилось на массивном бетонном основании, с подложенной под модели резиновой прокладкой толщиной около 10 мм. Эти меры были необходимы для того, чтобы максимально оградить модель от внешних воздействий и механических вибраций. Каждая модель устанавливалась так, чтобы ось прецессии гироблока, входящего в ее ИК, была расположена вертикально. В таком положении уходы гироблока, связанные с остаточной несбалансированностью его поплавкового элемента, а значит, зависящие от ускорения свободного падения  $\vec{g}$ , действующего на гироблок, сводятся к нулю. Таким образом, измеренная моделью угловая скорость  $\omega_{изм}$  будет состоять из следующих составляющих

$$\omega_{изм} = \omega_{\tau} + \omega_{3}^{\Gamma}, \quad (1)$$

где  $\omega_{\tau}$  – скорость собственного ухода гироблока, не зависящая от перегрузок и вызванная моментом тяжения токоподводов поплавкового элемента;

$\omega_{3}^{\Gamma}$  – проекция горизонтальной составляющей скорости суточного вращения Земли на ось чувствительности гироблока, зависящая от ориентации гироблока относительно азимута и от географических координат места испытаний.

В качестве выходной информации с лабораторных моделей имеем количество

дискретов информации, пропорциональных приращению интеграла измеряемой угловой скорости за такт опроса 0,1 с. Время записи массива данных – 5 минут. Запись массива данных осуществлялась не ранее чем через 30 минут после достижения гироблоком состояния тепловой готовности (температура гироблока  $T_{ГБ} = 60 - 62$  °С со стабильностью 0,1°С).

Полученный массив данных был пересчитан в осреднениях по 1 с и по 10 с и обрабатывался по формуле (2) с целью выделения шумовой составляющей информации. Графики, построенные в трех осреднениях (0,1с; 1с; 10 с) по типовым замерам длиной 5 мин с лабораторных моделей новых приборов, а также по замеру длиной 350с с ИК прибора-прототипа новых приборов, представлены на рис. 1–3.

$$d\varphi_i = (n_i - n_{cp})\beta, \quad (2)$$

где  $d\varphi_i$  – приращение интеграла скорости за прошедший такт измерения, [угл. с.];

$n_i$  – количество дискретов информации, полученных за прошедший такт измерения;

$n_{cp}$  – среднее количество дискретов информации, полученное в каждом такте, представляющее постоянную составляющую в выходной информации и вычисляемое как  $(\sum n_i)/i$ , [угл. с.];

$\beta$  – цена дискрета выходной информации прибора, [угл. с./бит инф.].

По каждому из массивов данных было вычислено среднеквадратическое отклонение.

Сравнительный анализ точностных характеристик приборов, находящихся в эксплуатации в настоящее время, и новых приборов, полученных по результатам предварительной проработки, представлены в таблице [2, 3]. Как видно из этой таблицы, к новым приборам предъявляются намного более жесткие требования в плане уровня шумов в выходной информации.

### Выводы

Согласно данным, полученным в процессе испытаний лабораторных моделей новых приборов в сравнении с данными по их прототипу, можно назвать предложенные выше пути доработки ГИВУС успешными. В частности, из сравнения данных по модификации 1 нового прибора с данными по прибору-прототипу можно сделать заключение о том, что все вышеприведенные меры способны снизить шумовую составляющую в выходном сигнале почти в 5 раз. Из сравнения данных с модификаций 1 и 2 нового

прибора между собой можно оценить значение такой доработки, как понижение частоты среза ИК. Данная доработка позволяет уменьшить высокочастотные «шумы» примерно в 3 раза, а низкочастотные – почти в 2 раза.

### Библиографический список

1. Волынец, А.А. Повышение точности и диапазона измерения прецизионных гироскопических измерителей вектора угловой скорости на базе поплавковых чувствительных элементов / А.А. Волынец, В.В. Воробушкин, Б.А. Казаков, Н.А. Тидеман и др. // XVI Санкт-Петербургская междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. Сб. тр., 2009. – С. 114–123.
2. Волынец, А.А. Повышение точности и диапазона измерения гироскопических измерителей вектора угловой скорости / А.А. Волынец, Б.А. Казаков, И.Е. Шустов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – № 6. – 2009. – С. 102–106.
3. Казаков, Б.А. Эскизный проект на прибор КИНД34-064, КИНД.Э001.2577 / Б.А. Казаков, А.А. Волынец и др. – М.: ФГУП «ЦЭНКИ» НИИ ПМ (на правах рукописи), 2009.

## ОШИБКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Н.И. ЛЕСИН, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук*,  
 Д.Н. ЛЕСИН, *инженер каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ*,  
 И.М. СТЕПАНОВ, *проф. каф. вычислительной техники МГУЛ, д-р техн. наук*

*lesin@mgul.ac.ru*

Известно [1, 2], что при классификации технического состояния сложных систем допускаются ошибки вероятности ложного и необнаруженного отказов. Последние особенно существенно проявляются при оценке технического состояния сложных систем, когда в силу временных ограничений приходится сознательно ограничивать число контролируемых параметров, что приводит также к увеличению стоимости их эксплуатации. Поэтому, для более объективной оценки технического состояния сложных систем, в последнее время все больший интерес вызывают методы, учитывающие их полноту контроля и критерий отказа.

Анализ научно-технической литературы по оценке технического состояния сложных систем показывает, что в настоящее время известны лишь отдельные работы по определению достоверности оценки технического состояния сложных систем [3]. Поэтому оценка вероятностей ложного и необнаруженного отказов сложных систем с учетом их полноты контроля и критериев отказов представляется актуальной задачей.

Методами теорий контроля, математической статистики и принятия решений получены выражения для вероятностей ложного и необнаруженного отказов сложной системы для различных значений относительных пог-

решностей измерений контролируемых параметров, полноты контроля и фиксированного критерия отказа.

$$P_{ло} = P_k^{N_0} - (1 - \alpha_k)^{N_0 Q} P_k^{N_0}, \quad (1)$$

$$P_{но} = (1 - P_k^{N_0})(1 - \alpha_k)^{N_0 Q} - \left[ (1 - \alpha_k)^{N_0 Q} - \frac{(P_k(1 - \alpha_k) + (1 - P_k)\beta_k)^{N_0 Q} - (P_k(1 - \alpha_k))^{N_0 Q}}{1 - P_k^{N_0 Q}} \right] \times (1 - P_k^{N_0}) Q, \quad (2)$$

где  $P_{ло}$  и  $P_{но}$  – вероятности ложного и необнаруженного отказов сложной системы;  
 $\alpha_k$  и  $\beta_k$  – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов по  $k$ -му контролируемому параметру системы;  
 $P_k$  – вероятность безотказной работы по  $k$ -му контролируемому параметру;  
 $Q = 1 - P_0 / 1 - P$  – полнота контроля;

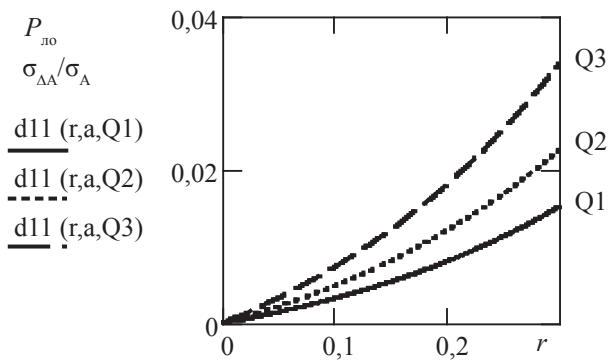


Рис. 1. Зависимости вероятности ложного отказа от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров сложной системы при  $N_0=20$ ,  $\Delta/\sigma_{\Delta\Delta}=3$  и различных значениях  $Q$ :  $Q1=0,4$ ;  $Q2=0,6$ ;  $Q3=0,9$

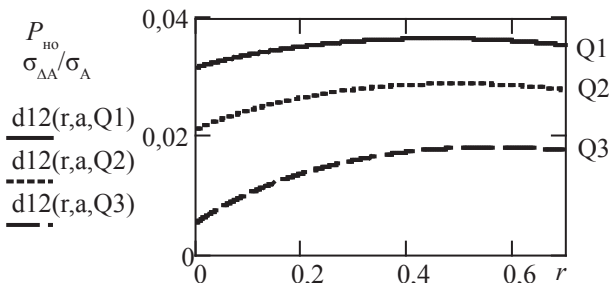


Рис. 2. Зависимости вероятности необнаруженного отказа от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров сложной системы при  $N_0=20$ ,  $\Delta/\sigma_{\Delta\Delta}=3$  и различных значениях  $Q$ :  $Q1=0,4$ ;  $Q2=0,6$ ;  $Q3=0,9$

$P$  и  $P_0$  – вероятности безотказной работы сложной системы в целом и ее контролируемой части;

$N_0$  – количество контролируемых параметров в сложной системе.

На рис. 1–2 представлены графики зависимостей вероятностей ложного и необнаруженного отказов  $P_{ло}$ ,  $P_{но}$  для принятого критерия отказа сложной системы от относительных погрешностей измерений контролируемых параметров  $\sigma_{\Delta\Delta}/\sigma_A$  при фиксированных значениях числа контролируемых параметров  $N_0$ , допусков на них  $\Delta/\sigma_{\Delta\Delta}$  и различных значений полноты контроля.

Анализ выражений и графиков показывает, что для принятого критерия отказа при увеличении относительной погрешности измерения контролируемых параметров  $\sigma_{\Delta\Delta}/\sigma_A$ , фиксированных значений числа контролируемых параметров в сложной системе, полноты контроля и допусков на контролируемые параметры вероятность ложного отказа увеличивается, а вероятность необнаруженного отказа сначала растет, а затем уменьшается.

Для фиксированных значений относительных погрешностей измерений контролируемых параметров, числа параметров и допусков на них увеличение полноты контроля приводит к уменьшению вероятности необнаруженного отказа и увеличению вероятности ложного отказа, причем первая имеет экстремум по оси относительных погрешностей измерений.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке и оценке технического состояния сложных систем с учетом их полноты контроля и принятого критерия отказа.

### Библиографический список

1. Проектирование внешних средств автоматизированного контроля радиоэлектронного оборудования / Под ред. Н.Н. Пономарева. – М.: Радио и связь, 1984. – 296 с.
2. Автоматизация контроля радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. П.И. Чинаева. – М.: Сов.радио, 1977. – 256 с.
3. Щербаков, Н.С. Достоверность работы цифровых устройств. – М.: Машиностроение, 1989. – 224 с.

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ ELECTRONICS WORKBENCH И MULTISIM ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук,*  
Ю.Т. КОТОВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук,*  
М.В. ПОДРЕЗОВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, канд. техн. наук,*  
И.М. СТЕПАНОВ, *проф. каф. вычислительной техники МГУЛ, канд. техн. наук*

*domrachev@mgul.ac.ru*

Электронные курсы, читаемые на кафедре электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, в соответствии с учебными программами сопровождаются лабораторными практикумами. Их проведение вызвано необходимостью закрепления теоретических знаний практической разработкой электронных схем, умением работать с контрольно-измерительной аппаратурой, приобретения исследовательских навыков. Совершенствование элементной базы по электронике и микропроцессорной технике, состава и свойств измерительной аппаратуры требует своевременного обновления и совершенствования лабораторного практикума.

В настоящее время кафедральное лабораторное оборудование приспособлено в основном для проведения исследований путем электронного моделирования свойств электронных и микропроцессорных устройств с применением вычислительных средств. Данный подход позволяет оперативно и с высокой точностью проводить уникальные исследования характеристик электронных устройств, таких как исследование фазовых, спектральных и нелинейных характеристик, исследование влияния температуры на работу электронного устройства и т.д. В данной работе на примере исследования схем «точного диода» представлены результаты компьютерного моделирования схем на базе программного пакета Electronics Workbench, v.5.12 и Multisim, v. 9 фирмы Interactive Image Technologies Ltd (Canada).

Как известно [1–4], полупроводниковые диоды мало пригодны для работы с сигналами малой амплитуды. Например, германиевые диоды сильно искажают сигнал из-за нелинейности начального участка вольтам-

перной характеристики (ВАХ), кремниевые диоды вообще не пропускают ток при напряжениях менее 0,5 вольта (рис. 1).

На рис. 2 приведен пример искажения формы входного сигнала (кривая 1), полученного на выходе (кривая 2) стандартной схемы выпрямления (рис. 3). При идеальном диоде D1 одна из полувольт сигнала, имеющего амплитуду 250 мВ, после прохождения диода должна полностью повторить форму входной полувольты [5, 6]. Осциллограммы, приведенные на рис. 2, наглядно показывают, что схема такого выпрямителя для выделения положительной полувольты входного синусоидального сигнала не пригодна. С этой задачей легко справляется схема «точного диода», представленная на рис. 4.

Из приведенных на рис. 4 осциллограмм видно, что при такой же амплитуде входного напряжения 250 мВ сигнал на выходе схемы точно копирует входной сигнал, изменив его знак.

Рассмотрим работу схемы, спроектированной на базе программного пакета Multisim, v. 9 (рис. 5). Ее реакция на входное воздействие зависит от полярности входного напряжения. Но вне зависимости от знака этого напряжения у нас открыт либо диод D1, либо диод D2. Поэтому в любой ситуации в

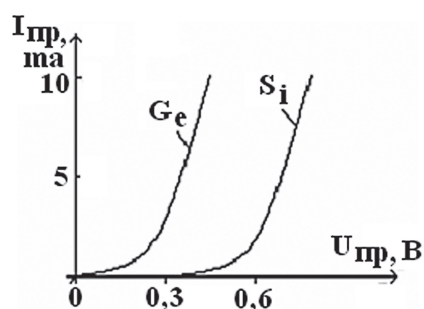


Рис. 1. ВАХ диодов

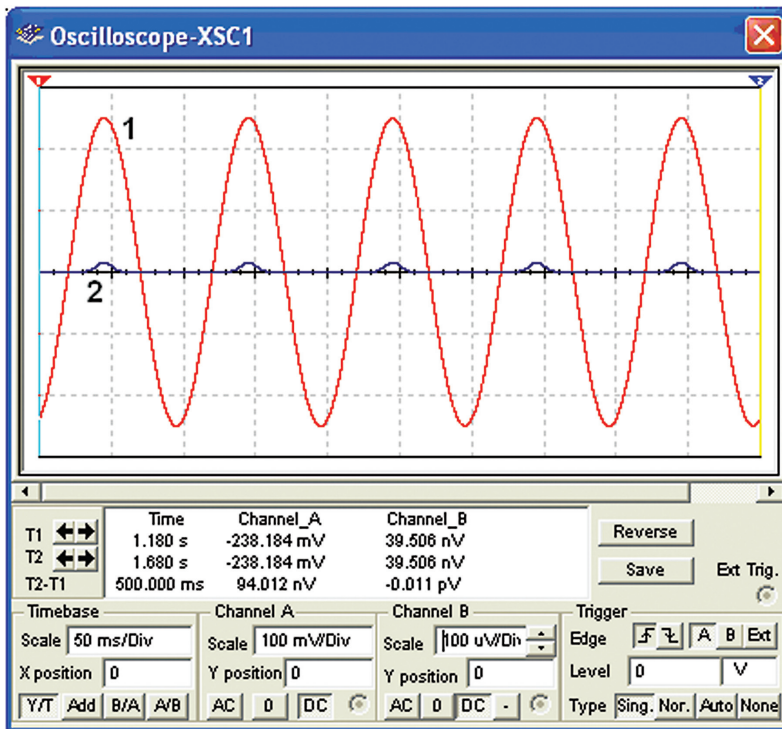


Рис. 2. Форма сигналов на входе (1) и выходе (2) схемы выпрямителя

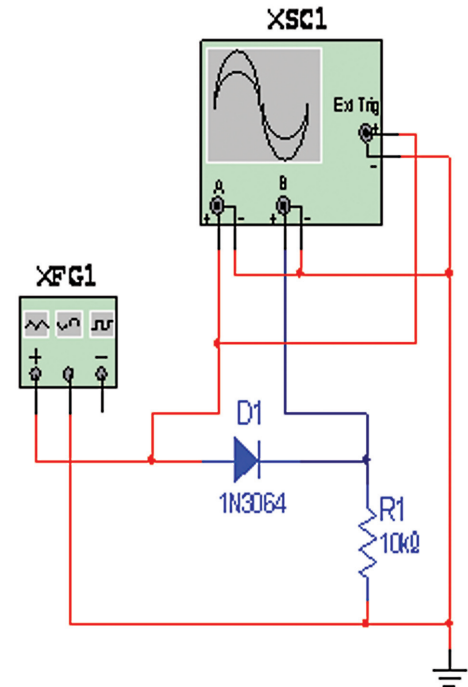


Рис. 3. Схема выпрямителя

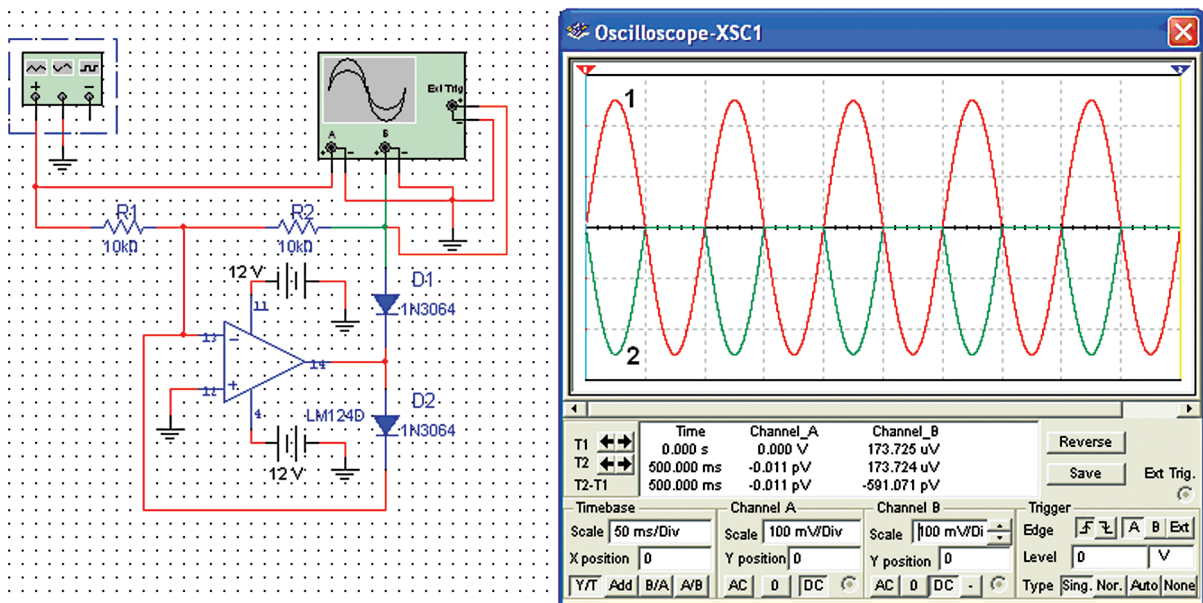


Рис. 4. Схема «точного диода» и осциллограммы напряжений на входе (1) и на выходе (2) схемы

схеме всегда присутствует отрицательная обратная связь. Это дает нам право считать, что  $U^+ = U^- = 0$ .

Для наглядности работы выпрямительные диоды  $D1$  и  $D2$  в схеме заменены на светодиоды.

Проанализируем работу схемы. Выберем  $R2 = R1$  и установим переключатель  $K_{cy}$  в положение 1. При этом ток от положительно-

го вывода источника  $V3$  проходит переключатель  $K_{cy}$ , резистор  $R1$ . Так как операционный усилитель (ОУ) LM124D имеет большое входное сопротивление, то ток далее проходит через резистор  $R2$ , диод  $D2$  в это время закрыт. На выходе схемы сформируется напряжение  $U_{вых} = V3$  обратной полярности.

Сменим полярность входного напряжения, переключив  $\Pi 1$  в положение 2 (рис. 6).

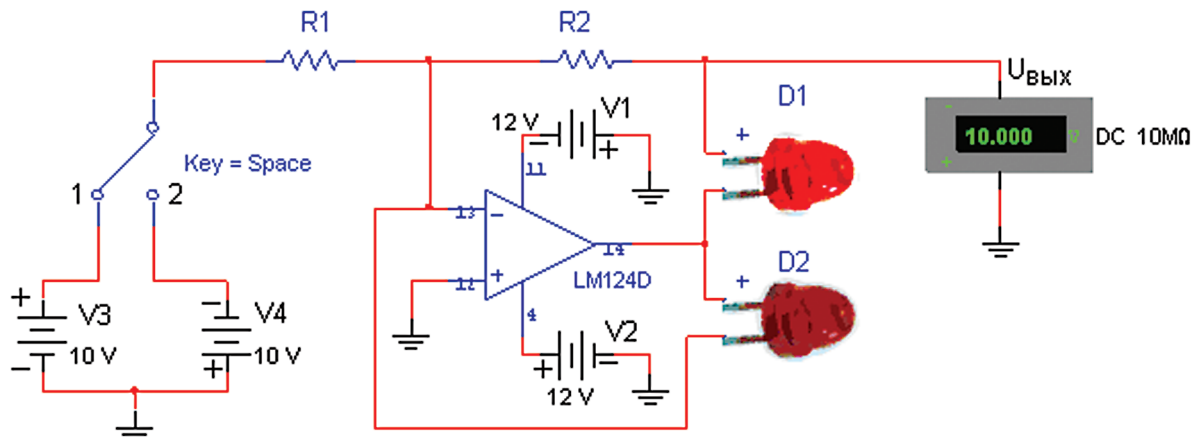


Рис. 5. Работа схемы точного диода от положительного источника входного напряжения

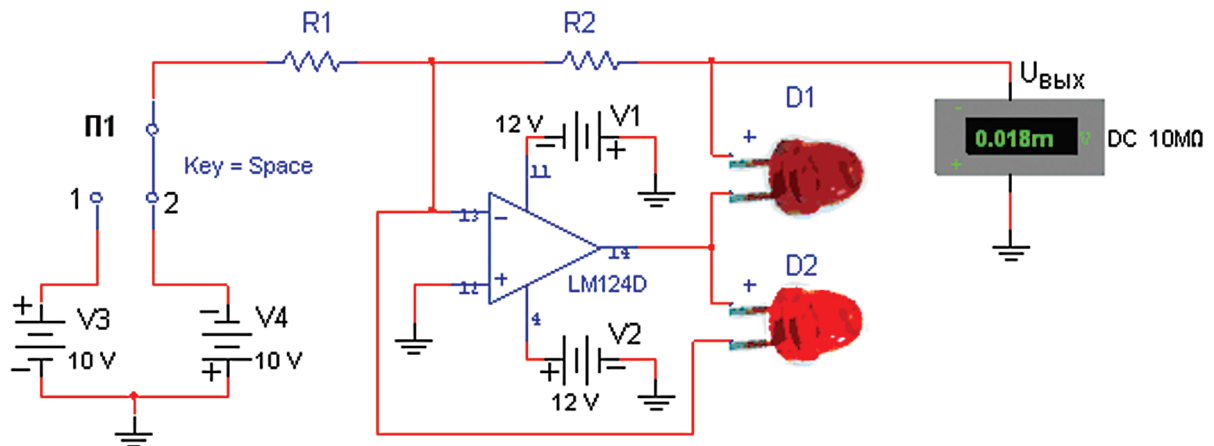


Рис. 6. Работа схемы точного диода от отрицательного источника входного напряжения

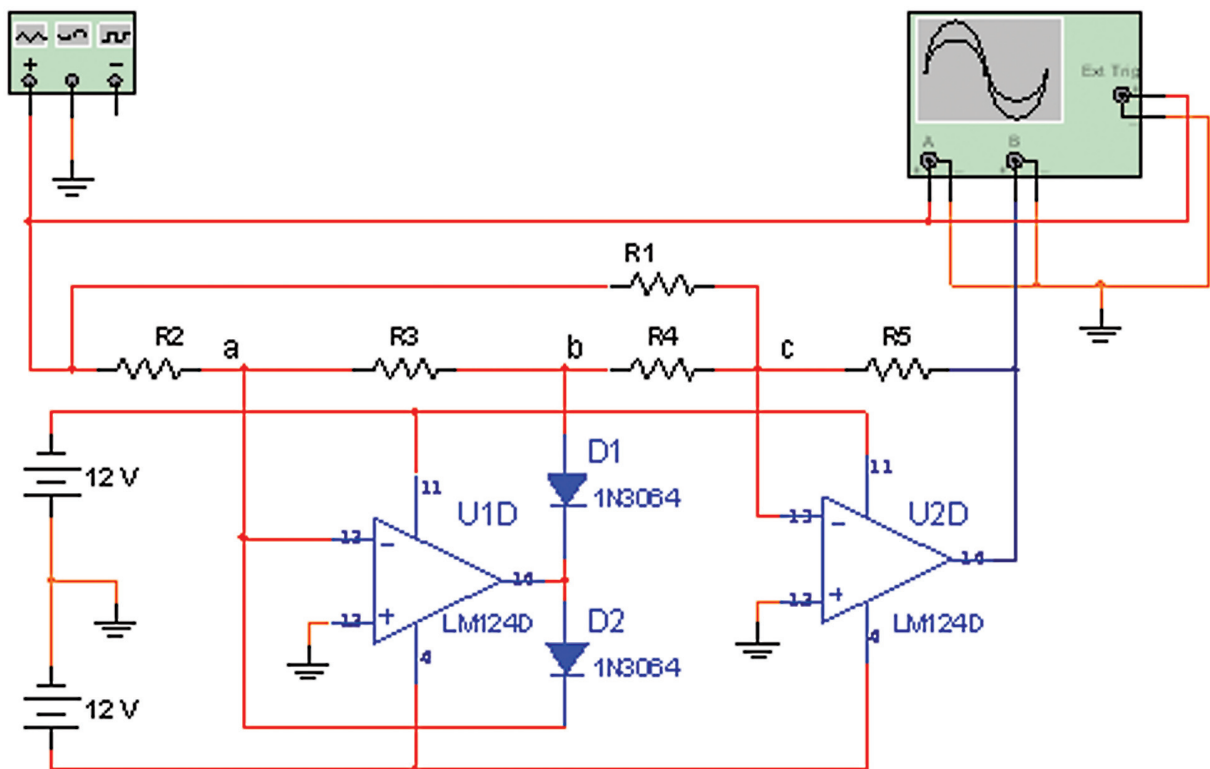


Рис. 7. Схема выделения модуля входного напряжения

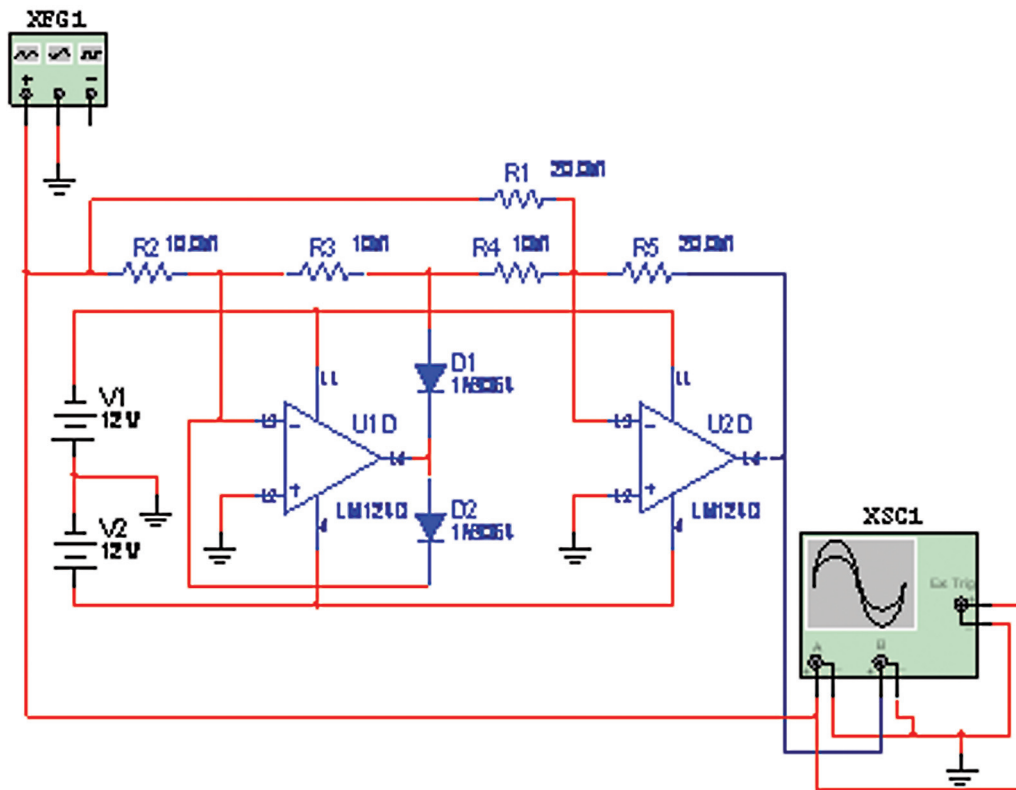


Рис. 8. Принципиальная схема выделения модуля входного напряжения

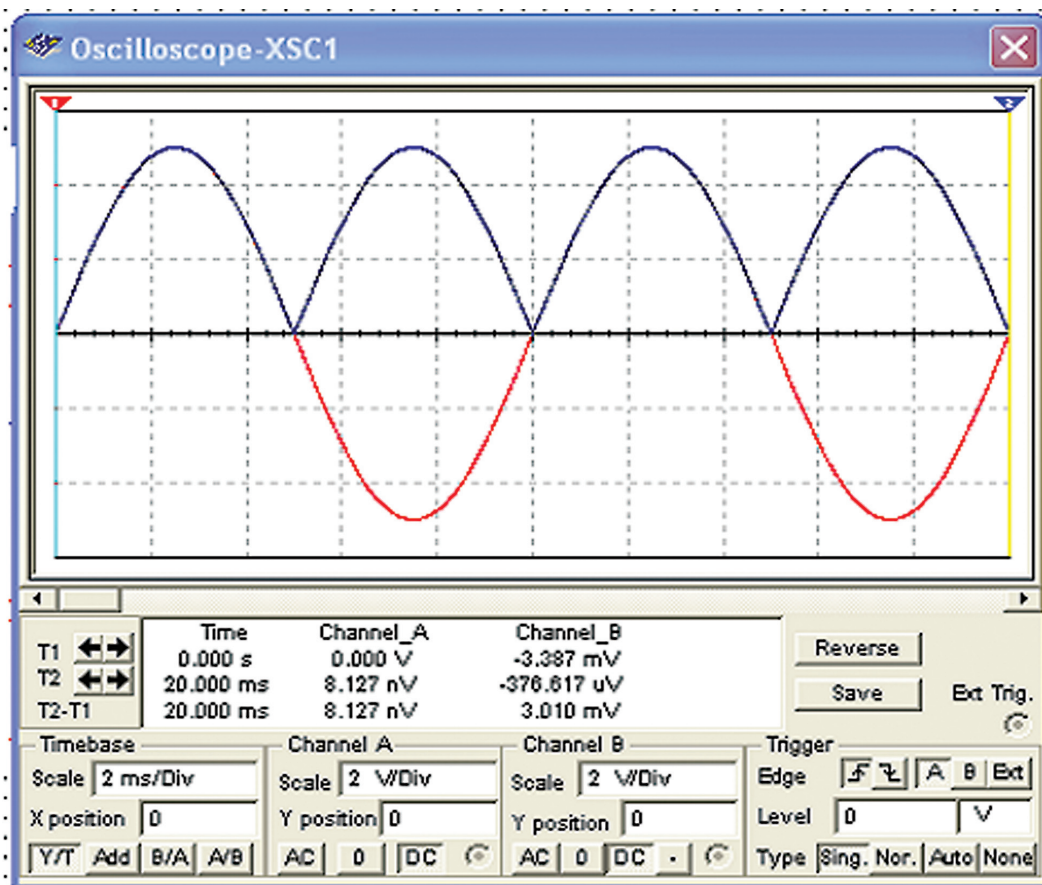


Рис. 9. Осциллограммы входного и выходного напряжений схемы выделения модуля при синусоидальном входном напряжении



В этом случае ток от источника  $I_4$  по земляной шине проходит через источник питания  $I_2$  ОУ, ОУ, вывод 14 ОУ, D2 (т.к. D1 закрыт) и, наконец, R1 на минус источника  $I_4$ . Выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = 0,018$  мВ. Его величина объясняется не идеальностью ОУ.

Используя свойства схемы «точного диода», можно проектировать схемы выделения модуля входного напряжения. Существует несколько схемотехнических решений. Широко распространена схема, представленная на рис. 7.

Из названия схемы следует, что при передаче положительных напряжений на выходе сигнал должен быть таким же по величине и по знаку, как и на входе. Обозначим коэффициент передачи положительных напряжений  $K_U^+$ . Из сказанного выше, следует, что в схеме должно быть выполнено условие  $K_U^+ = 1$ . Если на вход подать отрицательное напряжение, то на выходе оно должно быть таким же по величине, но со знаком «+». Таким образом, коэффициент передачи отрицательных напряжений ( $K_U^-$ ) должен быть равен  $-1$  ( $K_U^- = -1$ ).

Проведем анализ схемы при положительных входных напряжениях. Из рассмотрения работы схемы точного диода известно, что для данного случая диод D1 открыт, а диод D2 закрыт. Воспользуемся первым законом Кирхгофа, по которому сумма токов в узле равна нулю. Рассмотрим узел «а». В нем  $I_{R2} + I_{R3} = 0$ .  $U_{\text{ах}}/R2 + U_{\text{б}}/R3 = 0$ . Отсюда находим

$$U_{\text{бх}} = -U_{\text{а}} \frac{R3}{R2}. \quad (1)$$

Для узла «с»,  $I_{R1} + I_{R4} + I_{R5} = 0$ .  $U_{\text{ах}}/R1 + U_{\text{б}}/R4 + U_{\text{вых}}/R5 = 0$ . Тогда

$$U_{\text{вых}} = -U_{\text{б}} \cdot R5/R4 - U_{\text{ах}} \cdot R5/R1. \quad (2)$$

Воспользуемся выражением (1) и произведем замену  $U_{\text{б}}$  в (2). Получим

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{ах}} \frac{R3 \times R5}{R2 \times R4} - U_{\text{ах}} \frac{R5}{R1}.$$

Так как любое  $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{ах}}$ , окончательно имеем

$$K_U^+ = \frac{R3 \times R5}{R2 \times R4} - \frac{R5}{R1}. \quad (3)$$

Дальнейший анализ проведем, рассматривая реакцию схемы (рис. 7) на отрицательное входное напряжение. В этом случае диод D1 закрыт, а диод D2 открыт. Закрытый диод D1 можно рассматривать как разрыв цепи. В этом случае ток в резисторах R3 и R4 одинаков. Но потенциалы в точках «а» и «б» равны нулю. Отсутствие разности потенциалов указывает на то, что ток в резисторах равен нулю. Поэтому сумма токов в узле «с» будет выглядеть как  $I_{R1} + I_{R5} = 0$ . Записав значение токов, получим

$$U_{\text{ах}}/R1 + U_{\text{вых}}/R5 = 0.$$

При этом  $U_{\text{вых}} = -U_{\text{ах}} \cdot R5/R1$ . Тогда

$$K_U^- = -R5/R1. \quad (4)$$

Анализируя выражения (3) и (4), приходим к выводу, что  $K_U^- = -1$  можно получить только лишь при  $R5 = R1$ . При выполнении этого условия и после замены R5 на R1 выражение (3) примет вид

$$K_U^+ = \frac{R3 \times R1}{R2 \times R4} - 1. \quad (5)$$

Очевидно, добиться условия  $K_U^+ = 1$  можно только в том случае, если

$$\frac{R3 \times R1}{R2 \times R4} = 2.$$

Выбираем

$$R1 = R5 = 20 \text{ кОм}, R2 = R3 = R4 = 10 \text{ кОм}.$$

Легко убедиться, что в этом случае  $K_U^+ = 1$ , а  $K_U^- = -1$ .

В итоге установим в схеме указанные номиналы. Схема с указанием номиналов резисторов представлена на рис. 8, а ее отклик на входной знакопеременный сигнал на рис. 9.

Таким образом, можно отметить, что представленная работа – это первая в своем роде попытка разработать реальный лабораторный практикум по теме логического проектирования цифровых схем с использованием методов виртуальной электронной лаборатории. Она является основой для разработки методических указаний к лабораторному практикуму. Работа по их реализации для студентов соответствующих специальностей вуза ведется.

Настоящий лабораторный практикум не является окончательным и закрытым. Его всегда можно расширить и модифицировать. Для этого не нужны специальные навыки и знания как, например, при попытках дополнить программы, моделирующие лабораторные работы и написанные на языках программирования. Кроме того, тематика лабораторных работ (а, возможно, и курсовых), выполняемых в виртуальной лаборатории, может быть очень широка. Данная разработка демонстрирует лишь очень небольшую часть возможностей Electronics Workbench.

### Библиографический список

1. Шука, А.А. Электроника / А.А. Шука. – СПб: БХВ-Петербург, 2006.
2. Миловзоров, О.В. Электроника / О.В. Миловзоров. – М.: Высшая школа, 2005.
3. Степаненко, И.П. Основы микроэлектроники / И.П. Степаненко. – М. Лаборатория базовых знаний, 2004.
4. Бойко, В.И. Схемотехника электронных систем. Цифровые устройства: Учебник / В.И. Бойко. – СПб: БХВ-Петербург, 2004.
5. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC / В.И. Карлащук. – М. СОЛОН-Пресс, 2004
6. Хернитер, М.Е. Multisim / М.Е. Хернитер. – ДМК-пресс, 2006.

## АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Е.Г. ГРИДИНА, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук,*  
 В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук,*  
 В.А. ГАВРИКОВ, *доц. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, канд. техн. наук,*  
 Ю.Т. КОТОВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук*

*domrachev@mgul.ac.ru*

**В** настоящее время все большее распространение в системах управления различного назначения получают микропроцессоры (МП) и микроконтроллеры (МК). Сигнальные МП и МК – это однокристалльная микроЭВМ, которая помимо центрального процессора (ЦП) на кристалле может содержать память и многочисленные устройства ввода/вывода: аналого-цифровые преобразователи, последовательные и параллельные каналы передачи информации, таймеры реального времени, широтно-импульсные модуляторы (ШИМ), генераторы программируемых импульсов и т.д.

Отсюда и основные привлекательные качества, вытекающие из технологических особенностей построения: малые габариты; высокие производительность, надежность и способность быть адаптированными для выполнения самых различных задач. Основное назначение – использование в системах автоматического управления, встроенных в самые различные устройства: кредитные карточки, фотоаппараты, сотовые телефоны, музыкальные центры и многое другое. Встраиваемые системы уп-

равления стали настолько массовым явлением, что фактически сформировалась новая отрасль экономики, получившая название Embedded Systems (встраиваемые системы).

Основное назначение МП и МК в таких системах – это функции управления и в меньшей степени обработки информации. Последнее связано с тем, что МП и МК имеют ряд ограничений, основными из которых являются:

- невысокое быстродействие (десятки МГц);
- небольшая разрядность команд и данных (8–32 двоичных разрядов);
- ограниченный объем резидентной и внешней оперативной и постоянной памяти.

Все отмеченное выше определяет специфику и накладывает ограничения на алгоритмы обработки измерительной информации с использованием МП и МК. В то же время в литературе мало уделено внимания вопросам обработки информации, которые учитывают их особенности.

Вместе с тем функциональные возможности по обработке измерительной инфор-

мации можно существенно повысить, если учесть, что случайный процесс, помимо заданных многомерных плотности вероятности и интегральной функции распределения, может быть охарактеризован большим количеством других характеристик, значительная часть которых составляет предмет исследования теории выбросов случайных процессов [1, 2].

Так, в работах [2–4] показано, что распределения числа, длительности выбросов и интервалов между ними, а также между экстремумами и одноименными пересечениями, времени достижения границ выражаются через многомерные плотности вероятности случайных процессов и их производных. Таким образом, наиболее важные вероятностные характеристики выбросов случайного процесса содержат всю основную информацию о нем. Как показала практика, при решении большого числа практических задач наиболее информативными из них являются:

- число пересечений случайным процессом заданной границы (уровня или области);
- длительность выбросов случайных процессов;
- экстремумы выбросов случайных процессов;
- время достижения границ и пребывания случайного процесса в заданной области.

Данные вероятностные характеристики выбросов случайных процессов содержат всю основную информацию о нем, что, в частности, может быть проиллюстрировано хорошо известным из практики фактом сохранения высокой разборчивости речевого сигнала, подвергнутого предельному амплитудному ограничению (клиппированию) [5].

Поэтому использование вероятностных характеристик выбросов случайных процессов является весьма перспективным для решения задач распознавания и классификации базирующихся на высокой информативности характеристик выбросов случайных процессов. Перспективность подтверждается и тем, что при практической реализации алгоритмов обработки последние обладают рядом преимуществ перед другими характеристиками случайных

процессов с точки зрения возможности представления их в цифровой форме и обработки средствами вычислительной техники.

Рассмотрим классическую задачу различения случайных процессов с учетом возможности ее решения с использованием МП и МК. Для примера возьмем случай, характерный для задач контроля, когда уровень  $x_0$  является достаточно высоким. При этом среднее число  $\lambda(x_0)$  его пересечений стационарным случайным процессом  $\xi(t)$  является малым, а среднее значение интервала между пересечениями  $\tau(x_0) = 1/\lambda(x_0)$  – большим. В этом случае такие пересечения можно рассматривать как независимые и распределенные по закону Пуассона с параметром  $\lambda = \lambda_0(x_0) \cdot T$ . Задача различения сводится к последовательной процедуре проверки простой статистической гипотезы  $H_0$  о том, что число пересечений уровня  $x_0$  подчиняется закону Пуассона с параметром  $\lambda_0 = \lambda_{0\xi_0}(x_0) \cdot T$  против альтернативы  $H_1$ , что число пересечений подчиняется указанному закону с параметром  $\lambda_1 = \lambda_{0\xi_1}(x_0) \cdot T$ . Логарифм отношения в данном случае равен [2, 6]

$$\ln L(x_1, x_2, \dots, x_n) = \ln(\lambda_0 - \lambda_1) + \ln(\lambda_0/\lambda_1) \sum_{k=1}^n x_k. \quad (1)$$

Последовательная процедура различения случайных процессов  $\xi_0(t)$  и  $\xi_1(t)$  по числу пересечений ими заданного уровня осуществляется следующим образом. После очередного измерения принимается решение о наличии случайного процесса  $\xi_0(t)$ , если

$$c_1(k) < \sum_{k=1}^n x_k < c_2(k), \quad k = 1, \dots, n-1; \quad \sum_{k=1}^n x_k \leq c_1(n), \quad (2)$$

или принимается решение о наличии случайного процесса  $\xi_1(t)$ , если

$$c_1(k) < \sum_{k=1}^n x_k < c_2(k), \quad k = 1, \dots, n-1; \quad \sum_{k=1}^n x_k \geq c_2(n), \quad (3)$$

Здесь через  $c_1(n)$  и  $c_2(n)$  обозначены нижний и верхний пороги, с которыми сравнивается сумма

$$\sum_{k=1}^n x_k$$

– выбросов случайного процесса. Пороговые уровни определяются через требуемые по условию задачи вероятности ошибок 1-го и 2-го родов  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно [5]

$$c_1(n) = [\ln(\lambda_0/\lambda_1)]^{-1} [\ln(\lambda_0 - \lambda_1) + \ln(\beta/1 - \alpha)]; \quad (4)$$

$$c_2(n) = [\ln(\lambda_0/\lambda_1)]^{-1} [\ln(\lambda_0 - \lambda_1) + \ln(1 - \beta/\alpha)]; \quad (5)$$

Рассмотренный здесь алгоритм распространяется и на сумму независимых случайных величин, распределенных по закону Пуассона, так как результирующий процесс, на основании теории вероятностей, будет также распределен по этому закону.

Наличие у МП и МК аналого-цифровых преобразователей, счетчиков-таймеров реального времени, широтно-импульсных модуляторов позволяет вести обработку встроенной аппаратной частью данных вычислительных устройств, что существенно снижает потребность в вычислительных ресурсах и значительно увеличивает скорость обработки информации.

Одновременно выполняется компрессия измерительной информации, так как обработка ведется только ее существенной, значимой части.

В заключение следует отметить, что алгоритмы обработки измерительной информации базирующихся на характеристиках выбросов случайных процессов отвечают следующим основным требованиям:

1. Адекватность модели реальному измерительному процессу.

2. Небольшая потребность в вычислительных ресурсах (быстродействию, разрядности данных, объемах памяти).

3. Высокая скорость обработки информации.

4. Высокая степень сжатия измерительной информации.

5. Возможность использования встроенных устройств (аналого-цифровых преобразователей, счетчиков-таймеров реального времени, широтно-импульсных модуляторов) микроконтроллеров для снижения потребности в вычислительных ресурсах и значительного увеличения скорости обработки измерительной информации.

#### Библиографический список

1. Тихонов, В.И. Выбросы случайных процессов / В.И. Тихонов. – М.: Наука, 1987. – 303 с.
2. Фомин, Я.А. Теория выбросов случайных процессов / Я.А. Фомин. – М.: Связь, 1980. – 216 с.
3. Левин, Б.Р. Вероятностные характеристики выбросов случайных процессов. – В кн.: Нелинейные и оптимальные системы / Б.Р. Левин, Я.А. Фомин. – М.: Наука, 1971. – С. 381–392.
4. Рембовский, А.М. Распределение числа пересечений порога случайным процессом / А.М. Рембовский, Я.А. Фомин. – М.: Радиотехника и электроника, 1979. – Т. 24. – № 3. – С. 632–635.
5. Фланаган, Д.Л. Анализ, синтез и восприятие речи / Д.Л. Фланаган. – М.: Связь, 1968. – 397 с.
6. Фу, К. Последовательные методы в распознавании образов и обучении машин. Пер. с англ. / К. Фу. – М.: Наука, 1971. – 256 с.

## НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В.Г. ДОМРАЧЕВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук*,  
В.А. ГАВРИКОВ, *доц. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, канд. техн. наук*,  
Ю.Т. КОТОВ, *проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук*

*domrachev@mgul.ac.ru*

Применение в системах управления процедур распознавания образов повышает качество и скорость принимаемых человеком решений [1, 2]. Для правильного выбора алгоритма классификации, позволяющего разделять входные образы на классы, не-

обходимо учитывать следующие основные факторы:

– совокупность априорных сведений о нем;

– характер получения информации об исследуемом объекте.

На практике, однако, часто неизвестен даже тип функций плотностей вероятностей  $f(X/\omega_1)$  и никакие упрощающие предположения не могут быть обоснованы вследствие недостаточной априорной информации об исследуемом объекте или вследствие изменения статистик рабочей среды. Это приводит к необходимости использовать различные модели, например, аппроксимацию аналитических выражений многомерной плотности вероятности  $f_n(x_1, \dots, x_n, t_1, \dots, t_n)$ , что является очень сложной задачей. Вместе с тем, использование полученных выражений приводит к неточным, весьма приближенным результатам [3].

В данном случае целесообразно использовать непараметрические методы, для того чтобы получить более адекватную математическую модель конкретной физической ситуации для построения классификатора. При этом не предполагается знание законов распределения, связанных с каждым классом образов, а используются более фундаментальные свойства случайных величин. Это обычно некоторые относительные характеристики – ранги, серии, различные порядковые отношения и т.п.

Непараметрические методы обладают рядом перечисленных ниже преимуществ перед параметрическими [1, 2, 3]:

- более широкое поле приложений, так как они могут применяться для обработки данных, не обладающих количественной природой (нечисловой информации);
- меньшая чувствительность к «засорениям» статистических данных и влиянию грубых ошибок;
- процедуру классификации можно проводить по малым выборкам;
- математические средства здесь намного проще, чем в параметрических методах.

При этом алгоритмы классификации образов в вычислительном отношении не сложны и для их применения не требуется быстродействующий персональный компьютер с большим объемом оперативной памяти. Обработка поступающей информации может осуществляться микропроцессорами и программируемыми микроконтроллерами в реальном масштабе времени.

Так как в ряде случаев, в силу особенностей исследуемого объекта, информация о нем не может быть получена сразу, когда процедура классификации образов протекает во времени. Здесь принятие решения делается не сразу на основании всей полученной информации, а последовательно, шаг за шагом.

В непараметрической процедуре последовательной классификации вектор замеров признаков  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  заменяется вектором рангов  $S = [S_1, S_2, \dots, S_n]^T$ .

Измерения признаков  $x_1, x_2, \dots, x_n$  в системах управления производятся последовательно, и после каждого нового измерения необходимо переопределить ранги для всего множества замеров. «Последовательный ранг» замера  $x_n$  по отношению к множеству замеров  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  равен  $S_n$ , если  $x_n$  является  $S_n$ -й наименьшей величиной в этом множестве. Здесь необходимо отметить, что каждый раз при новом измерении, определение ранга осуществляется без переопределения их во всем векторе признаков, т.е. он сохраняется в информации, которая была получена при переопределении рангов всех предшествующих замеров.

Такой порядок определения рангов замеров естественным образом согласуется с процедурой последовательного принятия решений, когда измерения производятся последовательно в соответствии с определенным правилом остановки.

Между множеством  $n!$  возможных расстановок  $x_{i1} < x_{i2} < x_{i3} \dots < x_{in}$  и множеством  $n!$  возможных векторов последовательных рангов  $[S_1, S_2, \dots, S_n]$  для вектора замеров  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  имеется взаимно однозначное соответствие [4].

В непараметрических статистиках между порядком замеров (следовательно, и вектором простых рангов) и вектором последовательных рангов существует взаимно однозначное соответствие. Отсюда следует, что можно вычислить распределение векторов последовательных рангов [4]

$$\begin{aligned}
 P(x_{i_1} \leq x_{i_2} \leq \dots \leq x_{i_n}) &= \\
 &= \int_{-\infty < x_{i_1} \leq \dots \leq x_{i_n} < \infty} \dots \prod_{j=1}^n dP_{i_j}(x_{i_j}), \quad (1)
 \end{aligned}$$

где  $P_{ij}(x_i)$  – функция распределения независимых переменных  $x_{ij}$ .

В случае, когда функции распределения  $P_i(x_i)$  удовлетворяют альтернативам Лемана ( $r_i > 0$ ), получим

$$P_i(x_i) = P^{r_i}(x_i) = [P(x_i)]^{r_i}, \quad (2)$$

откуда, дифференцируя (2), получим  $dP_i(x_i) = dP^{r_i}(x_i) = r_i \cdot P^{r_i-1}(x_i) dP(x_i)$ . (3)

Подставим (3) в (1), будем иметь

$$P(x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n) = \int_{-\infty \leq x_1 \leq \dots \leq x_n < \infty} \prod_{i=1}^n dP^{r_i}(x_i). \quad (4)$$

Введем обозначение  $y_i = P(x_i)$  и подставим (4) в (3), получим

$$P(x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n) = \int_{-\infty \leq y_1 \leq \dots \leq y_n < \infty} \prod_{i=1}^n dy_i^{r_i} = \frac{\prod_{i=1}^n r_i}{\prod_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^i r_j \right)}. \quad (5)$$

Из выражения (5) можно найти вероятность для любой расстановки величин  $x_i$ , переставляя их в формуле соответственным образом, а из соотношения (1) определить распределение векторов последовательных рангов.

В качестве основной модели для разработки непараметрического алгоритма последовательной классификации рассмотрим задачу последовательного испытания двух выборок. Допустим, что при проведении распознавания электропроводящих объектов имеется два вектора замеров

$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  и  $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ , (6) каждый из которых представляет собой выборку из ансамбля случайных величин с некоторым распределением вероятностей. При этом должно использоваться как можно меньшее число измерений.

Далее предполагается, что последовательные замеры  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и  $y_1, y_2, \dots, y_n$  – независимые случайные величины. Такое предположение вполне допустимо, так как при наличии «сильной» взаимосвязи между признаками можно применить метод агрегирования параметров, т.е. укрупненное представление группы показателей в виде одного обобщенного признака [1, 3]. Указанный подход позволяет оценивать информативность

различных групп признаков отдельно, как бы расчлняя пространства описаний большой размерности на ряд подпространств меньшей размерности.

Испытывается гипотеза, что оба этих распределения одинаковы

$$H_0: G = P(X) \quad (6)$$

и альтернатива, что они различны  $H_1: G = f(P(X)) = P^r(X)$  в предположении, что  $P(X)$  – функция распределения  $X$  и  $f(P(X))$  – функция распределения  $Y$ . Для использования последовательного критерия отношения вероятностей (ПКОВ) Вальда, основанного на последовательных рангах, расставим замеры в таком порядке, чтобы они чередовались:  $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n$ .

Обозначим объединенные замеры на  $k$ -м шаге вектором

$$V(k) = [v_1, v_2, \dots, v_k], \quad (7)$$

где  $v_1 = x_1, v_2 = y_1$  и т.д.

Пусть  $S(k) = [S_1, S_2, \dots, S_k]$  есть вектор последовательных рангов для  $V(k)$ .

$$\lambda_k = [P_k(S(k)/H_1)] / [P_k(S(k)/H_0)]. \quad (8)$$

Выражение (8) представляет собой последовательное отношение вероятностей на  $k$ -м шаге процедуры классификации. Если верна гипотеза  $H_0$ , то для произвольного вектора  $S$  из  $S(k)$  имеем

$$P[S(k) = S / H_0] = 1/k!$$

Из выражения (8) для четных  $k$  получим

$$P(S(k)/H_1) = P(S_1, S_2, \dots, S_k / H_1) = \frac{r^{k/2}}{\prod_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^i A_j \right)}, \quad (10)$$

где

$$A_j = \begin{cases} 1, & \text{если } v_j \text{ есть } x, \\ r, & \text{если } v_j \text{ есть } y. \end{cases} \quad (11)$$

Тогда, последовательное отношение вероятностей на  $(k+1)$  – м шаге можно определить из выражений: для четных  $k$

$$\lambda_{k+1} = \frac{(k+1)! \cdot r^{(k+1)/2}}{\prod_{i=1}^{S_{k+1}-1} \left( \sum_{j=1}^i A_j \right) \cdot \prod_{i=S_{k+1}}^k \left( r + \sum_{j=1}^i A_j \right)} \left( \frac{\pi}{2} - \theta \right). \quad (12)$$

для нечетных  $k$ ,

$$\lambda_{k+1} = \frac{(k+1)! \cdot r^{k/2}}{\prod_{i=1}^{S_{k+1}-1} \left( \sum_{j=1}^i A_j \right) \cdot \prod_{i=S_{k+1}-1}^k \left( 1 + \sum_{j=1}^i A_j \right)}. \quad (13)$$

Для завершения непараметрической процедуры достаточно иметь только пару останавливающих границ, с которыми сравниваются последовательные отношения вероятностей

$$A = (1 - p_{01}) / p_{10} \text{ и } B = p_{01} / (1 - p_{10}), \quad (14)$$

где  $p_{ij}$  – вероятность принятия гипотезы  $H_j$ , когда в действительности верна гипотеза  $H_j$ .

Таким образом, непараметрическая процедура ПКОВ сводится к следующим шагам.

Получить последовательный ранг  $(k+1)$ -го замера.

Образовать вектор  $A(k+1) = [A_1, A_2, \dots, A_{Z-1}, A^*, A_{Z+1}, \dots, A_k]$ , содержащий  $(k+1)$  элементов, где  $A^* = 1$ , если  $(k+1)$ -й замер есть  $x$ , и  $A^* = r$ , если  $y$ , из  $A_k = [A_1, A_2, \dots, A_k]$  и вычислить  $S_{k+1}$ .

Вычислить последовательное отношение вероятностей  $\lambda_{k+1}$  по формуле (12) или (13) и сравнить с останавливающими границами (14).

На рисунке представлена блок-схема алгоритма непараметрической процедуры распознавания образов.

Правильный выбор альтернативы Лемана существенно влияет на качество алгоритма последовательной классификации. Между параметром  $r$  и средним числом измерений существует определенная зависимость [4]

$$E_r(k) = \left[ \log \frac{(r^{-1/2} + r^{1/2})}{2} \right]^{-1} \times$$

$$\times \left[ e_{10} \cdot \log \frac{e_{10}}{(1 - e_{01})} + (1 - e_{10}) \cdot \log \frac{(1 - e_{10})}{e_{01}} \right]. \quad (15)$$

Если выполняется условие  $e_{10} \ll 1$ , то (9) можно записать в виде

$$E_r(k) \cong \frac{\log[(1 - e_{10})/e_{01}]}{\log \frac{(r^{-1/2} + r^{1/2})}{2}}, \quad (16)$$

выражение (15) дает приближенную связь между средним числом измерений  $E_r(k)$  и параметром альтернативы Лемана  $r$  при заданных вероятностях  $e_{01}$  и  $e_{10}$ .

Из (15) и (16) можно сделать вывод, что при  $r > 1$  и  $r < 1$  среднее число измерений  $E_r(k)$  уменьшается по мере удаления от значения  $r = 1$ .

Рассмотрим числовой пример непараметрической процедуры классификации, данные для которого были получены с матричного электромагнитного преобразователя с размерами  $100 \times 100$  мм и имеющего  $16 \times 16$  ячеек. В результате проведенных измерений было получено две выборки образов  $X$  и  $Y$ , каждая выборка представлена 16-мерным

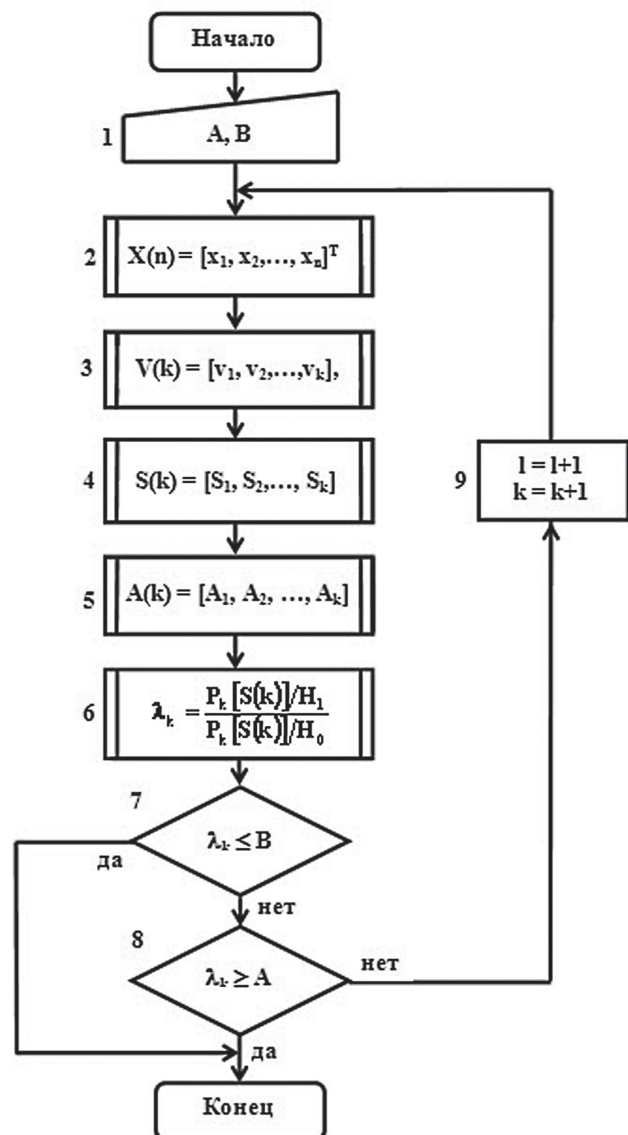


Рисунок. Блок-схема алгоритма непараметрической процедуры распознавания образов

вектором, элементы которого последовательно измеряются классификатором. Выборки получены для различных контролируемых объектов.

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_{16}] = [6,3; 6,9; 7,3; 7,5; 7,4; 6,8; 6,2; 6,7; 8,6; 9,5; 8,2; 7,2; 7,2; 9,0; 10,8; 9,9];$$

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_{16}] = [6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 9,0; 8,0; 7,0; 7,0; 8,0; 9,0; 8,0; 7,0; 7,0; 10,0; 10,0; 9,0].$$

Объединенная выборка замера имеет вид

$$V(32) = [v_1, v_2, \dots, v_{32}] = [x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_{16}, y_{16}].$$

Допустим, что вектор  $Y$  принадлежит классу образов  $\Omega$ . Задача состоит в проверке, принадлежит ли вектор  $X$  тому же классу, что и вектор  $Y$ . используя как можно меньше измерений. Положим  $r = 0,5$  в альтернативе Лемана против гипотезы  $H_0$  ( $r = 1$ ), а вероятности  $p_{10} = p_{01} = 0,1$ . Тогда останавливающие границы в последовательном критерии отношения вероятностей (ПКОВ) Вальда равны  $A = (1 - p_{01}) / p_{10} = 9,0$ , и  $B = p_{01} / (1 - p_{10}) = 0,11$ .

Из (12) и (13) с помощью последовательных рангов объединенных замеров вычисляются последовательные отношения вероятностей

$$V(1) = [6,3]; S(1) = [1];$$

$$A(1) = A_1 = [1]; \lambda_1 = 1,00;$$

$$V(2) = [6,3; 6,0]; S(2) = [2; 1];$$

$$A(2) = [0,5; 1]; A_1 = 0,5; A_2 = 1; \lambda_2 = 1,33;$$

$$V(3) = [6,3; 6,0; 6,9];$$

$$S(3) = [2; 1; 3]; A(3) = [0,5; 1; 1];$$

$$A_1 = 0,5; A_2 = 1; A_3 = 1; \lambda_3 = 1,60;$$

$$V(4) = [6,3; 6,0; 6,9; 7,0];$$

$$S(4) = [2; 1; 3; 4]; A(4) = [0,5; 1; 1; 0,5];$$

$$A_1 = 0,5; A_2 = 1; A_3 = 1; A_4 = 0,5; \lambda_4 = 1,07;$$

$$V(5) = [6,3; 6,0; 6,9; 7,0; 7,3]; S(5) = [2; 1; 3; 4; 5];$$

$$A(5) = [0,5; 1; 1; 0,5; 1];$$

$$A_1 = 0,5; A_2 = 1; A_3 = 1;$$

$$A_4 = 0,5; A_5 = 1; \lambda_5 = 1,33;$$

$$V(6) = [6,3; 6,0; 6,9; 7,0; 7,3; 8,0];$$

$$S(6) = [2; 1; 3; 4; 5; 6];$$

$$A(6) = [0,5; 1; 1; 0,5; 1; 0,5];$$

$$A_1 = 0,5; A_2 = 1; A_3 = 1; A_4 = 0,5;$$

$$A_5 = 1; A_6 = 0,5; \lambda_6 = 0,89;$$

$$V(7) = [6,3; 6,0; 6,9; 7,0; 7,3; 8,0; 7,6];$$

$$S(7) = [2; 1; 3; 4; 5; 7; 6];$$

$$A(7) = [0,5; 1; 1; 0,5; 1; 1; 0,5];$$

$$A_1 = 0,5; A_2 = 1; A_3 = 1; A_4 = 0,5;$$

$$A_5 = 1; A_6 = 1; A_7 = 0,5; \lambda_7 = 1,0,$$

аналогично, получим

$$\lambda_8 = 0,68; \lambda_9 = 0,74; \lambda_{10} = 0,49;$$

$$\lambda_{11} = 0,44; \lambda_{12} = 0,30; \lambda_{13} = 0,27;$$

$$\lambda_{14} = 0,23; \lambda_{15} = 0,20; \lambda_{16} = 0,16;$$

$$\lambda_{17} = 0,19; \lambda_{18} = 0,18; \lambda_{19} = 0,18;$$

$$\lambda_{20} = 0,12; \lambda_{21} = 0,14; \lambda_{22} = 0,10.$$

Поскольку  $\lambda_{22} < B = 0,11$ , классификатор принимает на одиннадцатом замере выборки  $X$  неизвестного образа гипотезу  $H_0$ . В результате можно сделать вывод о том, что образ принадлежит классу  $\Omega_1$ , т.е. является линейно протяженным изделием.

По полученным результатам можно сделать следующие основные выводы.

– При недостаточной априорной информации об исследуемом объекте целесообразно использовать непараметрические методы, для того чтобы получить более адекватную математическую модель конкретной физической ситуации для построения классификатора.

– Процедуру классификации можно проводить по небольшим выборкам.

– Математические процедуры в данном случае намного проще, чем при параметрических методах классификации.

– Полученные количественные результаты контроля позволяют отображать их в наглядной и удобной для оператора форме.

– Применение непараметрических методов классификации позволяет повысить достоверность и скорость принимаемых человеком решений.

### Библиографический список

1. Ту, Дж. Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М.: Мир, 1978. – 410 с.
2. Гублер, Е.В. Применение непараметрических критериев статистики в медико-биологических исследованиях / Е.В. Гублер, А.А. Генкин. – Л.: Медицина, 1973. – 128 с.
3. Рунион, Р. Справочник по непараметрической статистике / Р. Рунион. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 142 с.
4. Фу, К. Последовательные методы в распознавании образов и обучении машин / К. Фу. – М.: Наука, 1971. – 226 с.
5. Фомин, Я.А. Теория выбросов случайных процессов / Я.А. Фомин. – М.: Связь, 1987. – 215 с.



## КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДНЫЕ ПОКАЗАНИЯ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА В СОСТАВЕ ИНКЛИНОМЕТРА

Н.А. БЕДРО, инженер ОАО «НПО Геофизика-НВ»,

В.А. ЕСАКОВ, проф. каф. САУ МГУЛ,

М.В. ИВЛЕВА, инженер-технолог ОАО «НПО Геофизика-НВ»,

М.Н. КОМАРОВА, инженер-технолог ОАО «НПО Геофизика-НВ»,

С.А. ГАМКРЕЛИДЗЕ, проф. каф. электроники и микропроцессорной техники МГУЛ, д-р техн. наук

kotov@mgul.ac.ru

Существенным недостатком систем на основе микромеханических датчиков является относительно невысокая точность измерения параметров, а также существенная зависимость этой точности от изменения температуры и нестабильности напряжения питания. Существует ряд конструкторских решений, позволяющих снизить температурный коэффициент чувствительности приборов на основе микромеханических датчиков. Но в большинстве случаев для приборов, не предназначенных для специального применения, используется алгоритмическая компенсация влияния температуры на выходные показания микромеханических датчиков [1].

В данной статье рассматривается алгоритмический метод компенсации температуры инклинометра на основе микромеханического акселерометра. Структурная схема инклинометра приведена на рис. 1.

Основным элементом инклинометра является микромеханический акселерометр (МА), выходной сигнал которого прежде чем поступить на выход микроконтроллера (МК) подвержен масштабированию путем умножения на передаточный коэффициент операционного усилителя. МК несет в себе все вычислительные функции инклинометра: получает, обрабатывает и выдает на выход информацию. Полезной информацией, несущей величину действующего ускорения и угла относительно плоскости горизонта, является напряжение с МА, и лишь последующие преобразования, производимые с помощью программно-математических алгоритмов МК, преобразуют в величину ускорения или угловой скорости.

Компенсация температуры заключается в нахождении аппроксимирующей функ-

кции изменения выходного напряжения от температуры и введении ее в конечный расчет с обратным знаком.

Аппроксимирующая функция, в принципе, может быть математической функцией любого типа, линейной комбинацией различных функций или функциональным рядом из степенных, тригонометрических и любых других функций. В основу ее построения желательно закладывать априорные (теоретические) предположения о сущности изучаемого явления, хотя бы по таким свойствам, как область определения переменных и производных, асимптоты, минимумы и максимумы.

Наибольшее распространение в практике аппроксимации при отсутствии теоретических аспектов изучаемых явлений получили функциональные ряды, для которых определяющее значение имеет порядок аппроксимирующей функции (модели) [2].

Как показывают опыты, функция изменения выходного напряжения от температуры имеет линейный характер и ее можно описать уравнением

$$U_{\text{ВЫХ.А}}(T) = U_{\text{А0}} + K(\Delta T),$$

где  $U_{\text{А0}}$  – величина напряжения при нормальных условиях;

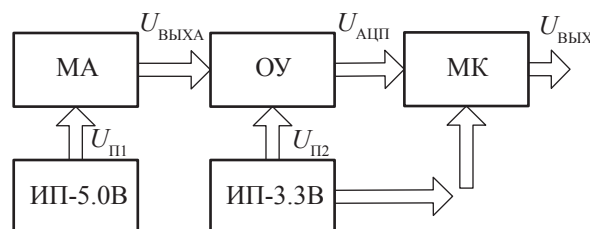


Рис. 1. Структурная схема инклинометра: МА – микромеханический акселерометр; ОУ – операционный усилитель; МК – микроконтроллер; ИП – источник питания

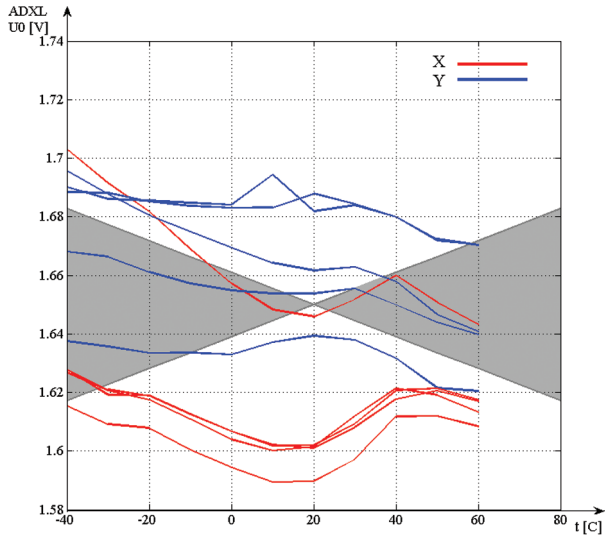


Рис. 2. Зависимость влияния выходного напряжения с акселерометра от температуры

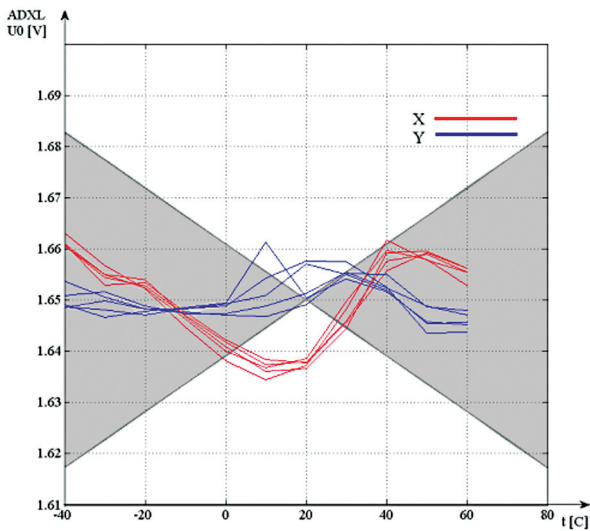


Рис. 4. Коррекция полиномом первой степени

$K$  – коэффициент наклона;  
 $\Delta T$  – величина прироста температуры.

Под нормальными условиями в первую очередь подразумевается, что температура окружающей среды должна составлять  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в то время как в США величина температуры берется равной  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 2 приведены зависимости выходного напряжения с МА от температуры из полученных массивов данных. Варьирование температуры происходило в диапазоне от  $-40$  до  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температурный диапазон выбран неслучайно, данный температурный диапазон соответствует условиям работы прибора.

Испытанию были подвергнуты пять приборов. Как видно из рис. 2, зависимость

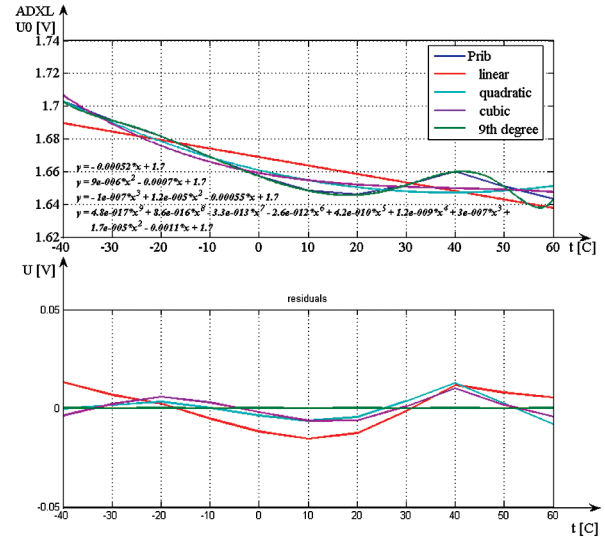


Рис. 3. Аппроксимация выходного напряжения акселерометра полиномами первой, второй, третьей и девятой степени: верхний график – аппроксимация выходного напряжения акселерометра полиномами разной степени; нижний – величина ошибки аппроксимации

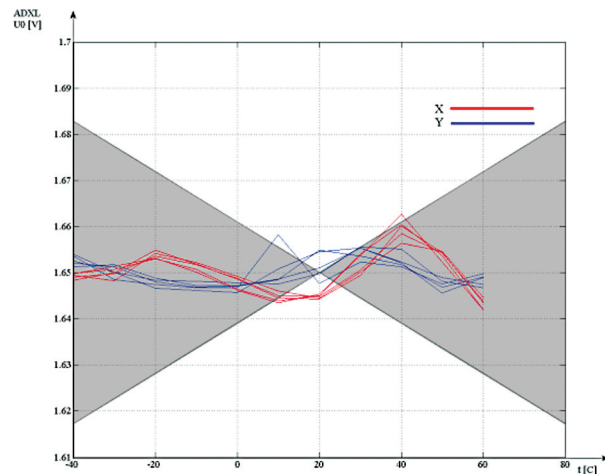


Рис. 5. Коррекция полиномом второй степени

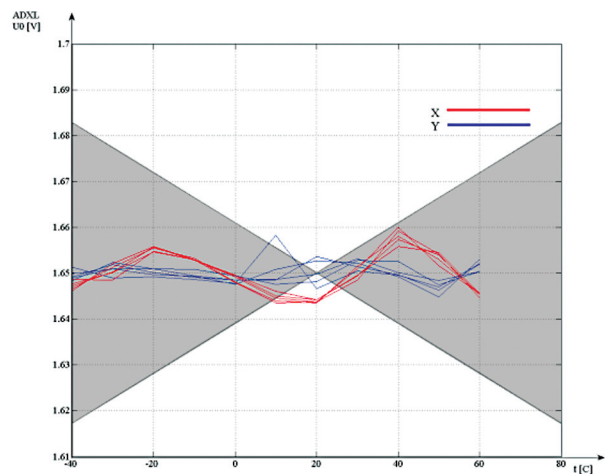
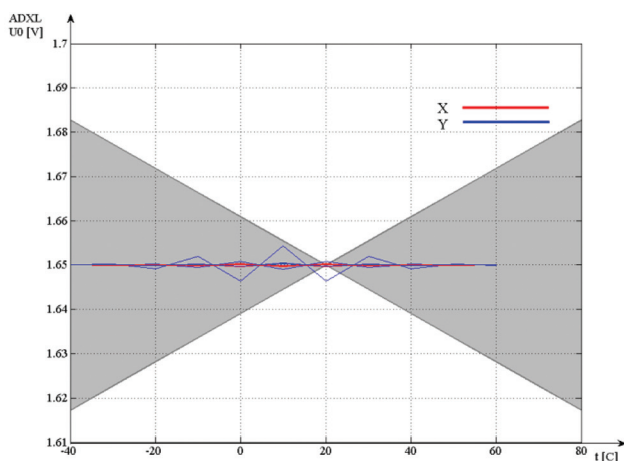


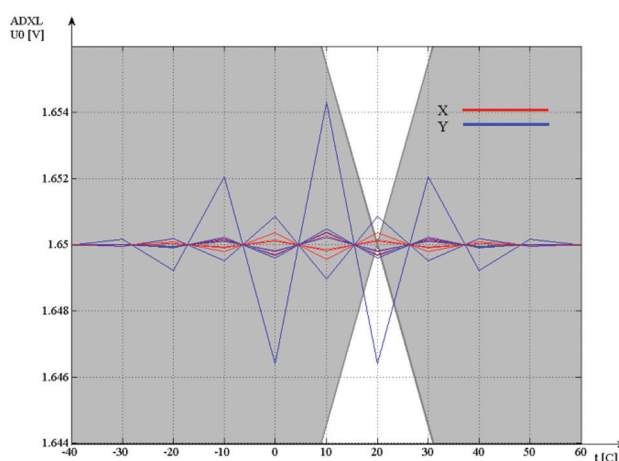
Рис. 6. Коррекция полиномом третьей степени

## Сравнение методов компенсации

Параметр	Ось	Исходный сигнал	Линейная аппроксимация	Квадратичная аппроксимация	Кубическая аппроксимация
СКО, [В]	X	0,010498	0,0085003	0,0047044	0,0044525
		Разница	19,03 %	44,66 %	5,35 %
	Y	0,008476	0,0035849	0,0030073	0,0021224
		Разница	57,70 %	16,11 %	30,93 %
Разброс, [В]	X	0,033027	0,024833	0,016436	0,014244
		Разница	24,81 %	33,81 %	13,34 %
	Y	0,028763	0,011728	0,0092691	0,0074512
		Разница	59,23 %	20,97 %	19,61 %



а



б

Рис. 7. Коррекция полиномом девятой степени: а) все поле допуска акселерометра; б) увеличенное изображение

выходного напряжения от температуры не имеет явно выраженный линейный характер. Разброс параметров выходного напряжения с микромеханического акселерометра соответствует заявленным характеристикам производителя [3], а отрицательный наклон характеристик можно объяснить инвертирующим включением ОУ в цепь съема информации.

Серой областью показан диапазон варьирования выходного напряжения с акселерометра от температуры в соответствии с характеристиками, заявленными производителем.

Рассмотрим уравнение, описывающее выходное напряжение с акселерометра

$$U_{\text{ВЫХ А}}(T) = U_{A0} + U_A(\Delta T) + U_A(\Delta U, \Delta T) + \delta_0$$

$$U_A(T) = K_{AT} \Delta T = K_{AT} (T - T_0)$$

$$U_A(\Delta U, \Delta T) = K_{AU} \Delta U = K_{AU} (U - U_0 - K_{UT} (T - T_0))$$

$$U_{\text{АЦП}} = K_{OY} U_{\text{ВЫХ А}}$$

где  $U_{A0}$  – величина выходного напряжения с микромеханического акселерометра при температуре 20 °С;

$K_{AT}$  – коэффициент изменения выходного напряжения акселерометра от температуры;

$\delta_0$  – систематическая ошибка (отклонение величина выходного напряжения с микромеханического акселерометра при температуре 20 °С от паспортного значения);

$T$  – варьируемая температура;

$T_0$  – «нулевая» температура;

$K_{AU}$  – коэффициент изменения выходного напряжения акселерометра от напряжения питания;

$U$  – варьируемое напряжение;

$U_0$  – «нулевая» величина напряжения;

$K_{UT}$  – коэффициент изменения величины напряжения питания от температуры;

$K_{OY}$  – передаточный коэффициент ОУ.

Как видно из уравнения, даже если брать во внимание изменение выходной величины напряжения с микромеханического аксе-

лерометра от температуры, то нельзя исключать влияния температуры на напряжения питания т.к. в дальнейшем при вводе коррекции будет присутствовать ошибка, равная величине

$$K_{UT}(T - T_0).$$

И не будет произведена полная компенсация влияния температуры на показания инклинометра.

Вернемся к полученным результатам. Как ранее было замечено, при линейной аппроксимации данных получается большая ошибка. Линейная аппроксимация является частным случаем полиномиальной интерполяции с помощью аппроксимирующего полинома

$$f(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n = \sum_{n=0}^n a_i x^i.$$

Таким образом, увеличивая степень полином аппроксимирующей функции, можно добиться уменьшения величины ошибки.

Произведем аппроксимацию выходного напряжения с акселерометра с помощью полиномов первой, второй, третьей и девятой степени рис. 3.

Как и следовало ожидать, с увеличением степени полинома происходит уменьшение ошибки.

Помимо выполнения коррекции, МК выполняет функции преобразования напряжения в величину действующего ускорения или угловые градусы в зависимости от режима работы. Так же производится компенсация нелинейности выходной характеристики для уменьшения погрешности при измерении углов. Все это приводит к ограничению вычислительных мощностей МК. В связи с этим самым опти-

мальным является аппроксимация полиномами, не превышающими третью степень.

Уравнение корректирующей функции для полинома первой степени будет выглядеть

$$U_{\text{КорВых}} = U(t) - K_{AT}(T - T_0) - K_{AU}(U - U_0 - K(T - T_0)) - \delta_0$$

Произведя коррекцию выходного сигнала полиномами разной степени, получили рис.4–7. В таблице приведены результаты коррекции выходного напряжения с микромеханического акселерометра полиномами различной степени.

Как видно из графиков и таблицы, введение коррекции приводит к увеличению стабильности работы прибора, а именно уменьшению среднеквадратической ошибки прибора и величины разброса напряжения. Также разница между использованием корректирующей функции с задействованием полиномов второй и третьей степени не сильно выражена, а значит, большого выигрыша при использовании полинома третьей степени нет. И наиболее выигрышным, с точки зрения сохранения вычислительной мощности МК и быстродействия прибора, является использование полинома второй степени.

### Библиографический список

1. Ачильдиев, В.М. Бесплатформенные инерциальные блоки на основе микромеханических датчиков угловой скорости и линейного ускорения: монография / В.М. Ачильдиев. – М.: МГУЛ, 2007. – 223 с.
2. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: в 2-х т. / Ж. Макс – М.: Мир, 1983.
3. ADXL 203. <http://www.analog.com>

## МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ

Е.В. ЖЕРДЕВА, *ст. науч. сотр. филиала ФБУ «46ЦНИИ Минобороны России», канд. техн. наук,*  
 О.В. ЦАРЕВ, *нач. управления филиала ФБУ «46ЦНИИ Минобороны России», канд. техн. наук*

*-el@ya.ru*

Современная радиоэлектронная аппаратура в военной технике (РЭА ВТ) характеризуются многофункциональностью и сложностью, которая обусловлена объемом и характером решаемых ими задач с помощью широкого использования разных технических

устройств, которые в своем составе имеют один из важнейших элементов – вторичные источники питания (ВИП).

Анализ развития вооружения РЭА ВТ, как в России, так и за рубежом, показывает, что улучшение тактико-технических и экс-

плутационных характеристик достигается, как правило, схемным и конструктивным усложнением РЭА ВТ, что ведет к снижению их надежности [1]. Выявленное противоречие возможно устранить за счет улучшения ремонтоспособности, также за счет рациональной компоновки РЭА ВТ, качественного диагностического обеспечения, под которым следует понимать комплекс взаимозависимых правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для совершения диагностирования РЭА ВТ на всех этапах жизненного цикла [2]. В рамках диагностического аспекта надежности должна решаться задача определения технического состояния объектов (образцов, изделий, устройств) РЭА ВТ, то есть организация проверки исправности, работоспособности, правильности функционирования элементов, ключевым из которых являются ВИП.

Актуальность задач технического диагностирования ВИП определяется следующими обстоятельствами:

- количество ВИП в современной РЭА ВТ составляет до 10 % от ее объема [3];
- большое время диагностирования ВИП (до 70 % от общего времени их восстановления), а также высокая стоимость восстановительных работ (до 50 % от стоимости жизненного цикла изделий) [4].

Анализ контроля технического состояния ВИП показывает, что качество определения технического состояния (ТС) ВИП непосредственно на объектах РЭА ВТ достаточно низкое. Например, при возникновении сбоев в ВИП в динамическом режиме современные средства контроля не определяют причину этих сбоев. В результате этого снижается коэффициент готовности РЭА ВТ.

Как правило, при эксплуатации ВИП в РЭА ВТ работают в таких условиях, когда нагрузка изменяется в больших пределах. Эти динамические изменения нагрузки приводят к сбоям в работе ВИП, даже в том случае, когда результаты контроля ТС в статическом режиме могут быть положительными.

Существующие системы контроля ТС не могут обеспечить требуемое среднее время восстановления при заданных экономических

затратах (10–15 % от стоимости контролируемого ВИП) и необходимую эффективность контроля [4].

Следовательно, необходимо разработать такие методы контроля ТС, которые позволили бы обеспечить необходимую эффективность этого контроля в динамическом режиме.

Для того чтобы получить заданную достоверность контроля, необходимо правильно определить все признаки, характеризующие исправное и неисправное состояние ВИП; выбрать обобщенные параметры, которые однозначно определяют эти признаки; найти соотношение между точностью измерений контролируемых параметров (КП) и допусками на эти КП.

Предлагаемый метод контроля технического состояния ВИП в динамическом режиме (МКДР), с помощью которого можно получить практически достоверную и полную информацию о качестве контролируемого объекта.

Динамический контроль объекта возможно осуществлять: а) во временной области; б) в частотной области; в) статистическими методами.

В каждом из перечисленных методов с помощью соответствующих зависимостей выбирают контролируемые параметры. На практике, как правило, использование частотного и статистического методов ведет к сложности съема информации и ее обработки. Поэтому для динамического контроля ВИП наиболее приемлемым является контроль объектов во временной области.

В этом случае используется ступенчатая функция, которая подается на вход объекта и является сильно действующим и относительно необычным входным возмущением для ВИП и позволяет проводить контроль технического состояния этих ВИП по переходной функции. Эта переходная функция несет в себе информацию о реакции системы на весь спектр частот.

Как известно, переходной процесс определяется показателями качества (ПК), основными из которых являются следующие: время переходного процесса  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , ошибка в установившемся режиме  $\alpha = 0,05U_{уст}$ ;

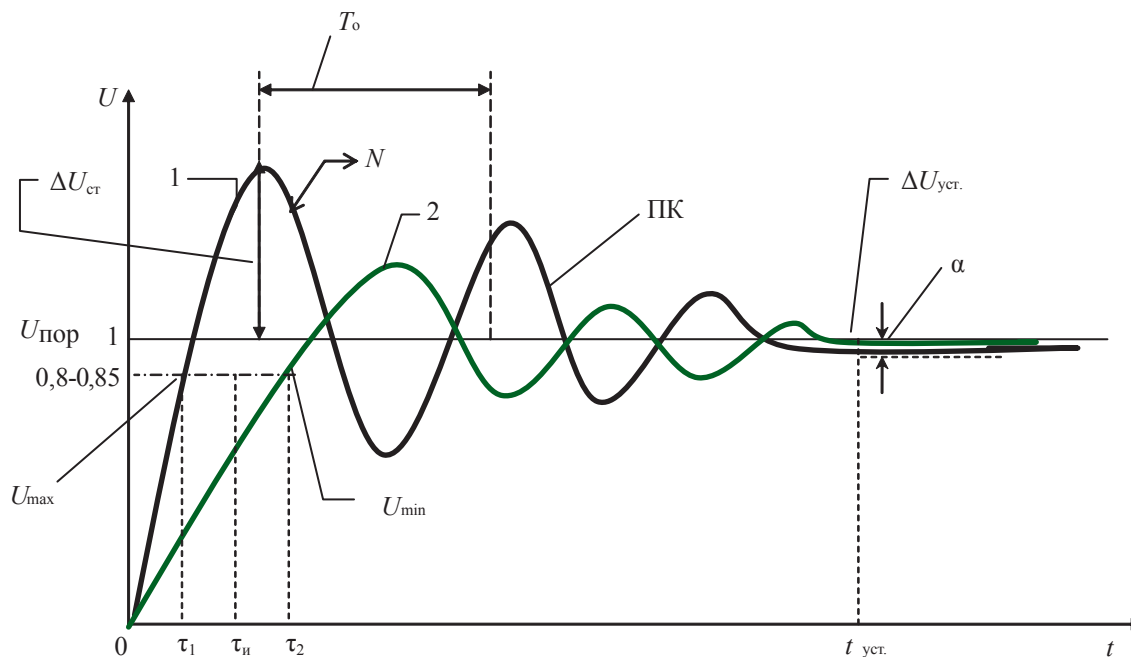


Рисунок. Определение показателей качества системы по кривой переходного процесса

$N$  – число колебаний в течение времени переходного процесса,  $\Delta U_{ст}$  – коэффициент перерегулирования (20 % – 30 %  $U_{уст.}$ ),  $t_{уст.}$  – время установления,  $T_0$  – период колебаний.

Для показателей качества графически можно определить область допустимых значений, из которой они не должны выходить при определении работоспособности ВИП. Оценку состояния ВИП по одному из перечисленных выше ПК или их композиции можно назвать прямыми динамическими оценками, так как они характеризуют динамику непосредственно по кривой переходного процесса [5].

Сущность метода контроля технического состояния вторичных источников питания в динамическом режиме. Вторичный источник питания представляет собой автоматическую систему управления (АСУ), при подаче входного воздействия на которую на выходе получается переходный процесс (рисунок).

Постоянная времени  $T$  для каждого ВИП является определенной величиной. Поэтому при подаче максимально допустимого воздействия  $U_{макс.}$  (задается паспортом или техническими условиями ВИП) – кривая 1 и минимально допустимого воздействия  $U_{мин.}$  (задается паспортом или ТУ ВИП) – кривая 2. Из рисунка видно, что кривые имеют разную скорость нарастания переходного процесса.

Если установить пороговое напряжение  $U_{пор.}$ , то момент перехода этого порога для кривой 1 происходит в точке 1 (0,85), при этом время задержки переходного процесса (пересечения) равно  $\tau_1$ , аналогично для кривой 2 соответствует задержка  $\tau_2$ . Величины  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , являются диагностическими параметрами. Работоспособность ВИП находится,

$$\text{если } \tau_1 \leq \tau_{изм.} \leq \tau_2, \text{ то ВИП исправен, (1)}$$

$$\text{если } \tau_1 > \tau_{изм.} > \tau_2, \text{ то ВИП не исправен. (2)}$$

Для вычисления  $\tau_1$  и  $\tau_2$  на этапе проектирования и разработки, используется модель ВИП, которая получена методом пространства состояний для  $U_{мин.}$  и  $U_{макс.}$ . По этой модели строятся переходные процессы 1 и 2, по которым

1. Задается  $U_{макс.}$ , по которому вычисляется переходный процесс 1.
2. Находится точка пересечения 1, с помощью которой определяются  $\tau_1$ .
3. Задается  $U_{мин.}$ , по которому вычисляется переходный процесс 2.
4. Находится точка пересечения 2, с помощью которой определяются  $\tau_2$ .

Для вычисления  $\tau_1$  и  $\tau_2$  на этапе проектирования и разработки используется модель ВИП, которая получена методом пространства состояний для  $U_{мин.}$  и  $U_{макс.}$ . По этой модели строятся переходные процессы 1 и 2, по которым

1. Задается  $U_{\text{макс}}$ , по которому вычисляется переходный процесс 1.

2. Находится точка пересечения 1, с помощью которой определяются  $\tau_1$ .

3. Задается  $U_{\text{мин}}$ , по которому вычисляется переходный процесс 2.

4. Находится точка пересечения 2, с помощью которой определяются  $\tau_2$ .

Методика контроля технического состояния состоит из двух этапов.

Первый этап проектирование и разработка, второй – эксплуатация.

На первом этапе определяются диагностические параметры с помощью диагностической модели, полученной методом пространства состояний или по результатам испытаний (предприятий-разработчиков) выполняется п. 1–4.

В диагностический формуляр записываются диагностические параметры:  $U_{\text{пор}}$ ,  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , тип ВИП;

На втором этапе

а) из диагностического паспорта в устройство контроля ВИП (УК ВИП) устанавливаются диагностические параметры  $U_{\text{пор}}$ ,  $\tau_1$  и  $\tau_2$  и тип ВИП.

б) включается устройство контроля ВИП и проверяется неравенство (1 и 2), результат проверки выводится на устройство регистрации.

Этот метод обладает большой чувствительностью и информативностью, так как условия для работы элементов ВИП в этом случае оказываются значительно жестче. Это объясняется тем, что переходной процесс характеризует динамический режим работы ВИП, в котором наиболее полно проявляется его уровень работоспособности [6]. В этом случае элементы, находящиеся в предотказном состоянии и трудно поддающиеся контролю традиционными методами, искажают переходной процесс, изменяют показатели качества, что является первым достоинством метода.

При использовании метода контроля технического состояния ВИП в динамическом режиме удастся значительно сократить время, затрачиваемое на контроль ВИП. Это достигается за счет использования одного показателя качества переходного процесса,

который с необходимой достоверностью характеризует техническое состояние ВИП, что является вторым достоинством метода.

В процессе контроля технического состояния ВИП основную трудность представляют элементы обратной связи. Поэтому при контроле таких ВИП при традиционных методах контроля приходится проводить разрыв обратных связей схемными или механическими способами [7]. Это приводит к дополнительным экономическим и временным затратам. При использовании метода МКДР представляется возможность контроля ВИП без разрыва обратных связей за счет использования особенностей работы элементов в переходном режиме, что является третьим достоинством метода.

Минимальное число контролируемых параметров и унификация входных воздействий в методе МКДР позволяет максимально автоматизировать процесс контроля технического состояния ВИП, что является четвертым достоинством метода.

Таким образом, наиболее перспективным методом контроля технического состояния вторичных источников питания РЭА ВТ в настоящее время является метод МКДР, который позволяет существенно сократить число контролируемых параметров и контроль технического состояния проводить по показателю качества переходного процесса.

### Библиографический список

1. Буроменский, Н.П. Ремонт радиоэлектронного вооружения в армии США / Н.П. Буроменский, В.И. Минцкер // Техника и вооружение.– 1991. – № 6.
2. Литвиненко, В.В. Техническое обеспечение в армии США / В.В. Литвиненко // Техника и вооружение. – 1990. – № 9.
3. Надежность технических систем: Справочник / Ю.Б. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотник и др.; Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985.
4. Заковряшин, А.И. Конструирование радиоэлектронной аппаратуры с учетом особенностей эксплуатации / А.И. Заковряшин. – М.: Радио и связь, 1988.
5. Доценко, Б.И. Диагностирование динамических систем / Б.И. Доценко. – К.: Техника, 1983.
6. Технические средства диагностирования. Справочник / В.А. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др. / Под ред. В.А. Клюева – М.: Машиностроение, 1989.
7. Долгов, В.А. Встроенные автоматизированные системы контроля / В.А. Долгов. – М., Энергия, 1967.

## ВЫСОКОТОЧНАЯ ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

А.С. АФАНАСЬЕВ, *зам. нач. управления филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России», канд. техн. наук,*

Р.И. КНЯЗЕВ, *ст. науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России»,*

Б.С. МЕЙКО, *вед. науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России», канд. техн. наук,*

В.М. СУСЛОВ, *вед. науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России», канд. техн. наук*

*hit-el@ya.ru*

Согласно нормативным документам, применяемым при расчете надежности функционально сложных электротехнических изделий, оценке и прогнозированию подвергаются их вероятность безотказной работы [1] и интенсивность отказов [2], при этом предполагается, что закон распределения вероятностей (ЗРВ) отказов изделий близок к экспоненциальному.

Однако если ЗРВ отказов изделий отличен от указанного, то при расчете показателей надежности согласно [3] погрешность в оценке надежности может составлять несколько тысяч процентов. Так, например, средняя наработка до отказа изделий, полученная путем интегрирования вероятности безотказной работы согласно [1], или величина обратная интенсивности отказов согласно [2], при нормальном законе будет завышена в 4–10 раз в зависимости от коэффициента вариации этого закона, при плосковершинных законах – в 3–5 раз в зависимости от величины и знака эксцесса этого закона, при несимметричных законах с положительной асимметрией в зависимости от степени их скошенности – в 2–3 раза, при несимметричных законах с отрицательной асимметрией в зависимости от степени их скошенности – в 10–20 раз. Стократное завышение в оценке этого параметра наблюдается при эмпирическом подходе в случае отсутствия аналога.

Важно отметить, что при теоретических абстрактных расчетах численных значений показателей надежности изделий используется более 20 видов законов, заимствованных из различных областей техники, зачастую ничего общего не имеющего с надежностью.

Теория надежности как наука возникла на сочетании основ математической логики и теории вероятностей, что дало возможность установить закон отказов изделия в виде суперпозиции дифференциальных ЗРВ отказов составляющих элементов его логической структуры, взвешенных переменными коэффициентами в пространстве и во времени. При этом в качестве коэффициента конъюнкции структуры используется произведение вероятностей безотказной работы сопредельных элементов, в качестве коэффициентов дизъюнкции структуры – произведение вероятностей их отказов.

Результаты, полученные на основе [3], далее принимаются как эталонные, так как ЗРВ отказов каждого изделия установлен адекватным его структурной схеме надежности (СН). Доказано, что плотность вероятности этих законов соответствует требованиям размерности, нормировки и знаку.

В таблице приведены типовые СН изделий и адекватные им аналитические выражения плотности распределения вероятностей отказов изделий, удобные для программирования на ЭВМ, и расчетные соотношения для определения численных значений показателей надежности изделий как производных установленных законов.

Из представленных материалов следует, что все показатели надежности изделий определяются через ЗРВ отказов – исчерпывающей обобщающей характеристики их надежности. Необходимо иметь в виду, что любая подмена законов отказов изделий недопустима и в случае нарушения приводит, как правило, к абсурдному результату. В связи с этим на практике основным подходом в подтверждении требований к надежности из-



**Структурные схемы надежности изделия и адекватные им законы  
распределения вероятностей его внезапных отказов**

Логическая интерпретация ССН изделия	Аналитические выражения адекватных дифференциальных ЗРВ отказов изделия для программирования на ЭВМ
	$g_n(t) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{f_i(t)}{p_i(t)} \times \prod_{i=1}^n p_i(t) \right]$
	$g_m(t) = \sum_{j=1}^m \left[ \frac{f_j(t)}{q_j(t)} \times \prod_{j=1}^m q_j(t) \right]$
	$g_{mn}(t) = \sum_{j=1}^m \frac{\left[ \sum_{i=1}^n \left[ \frac{f_{ji}(t)}{p_{ji}(t)} \times \prod_{i=1}^n p_{ji}(t) \right] \right]}{q_j(t)} \times \prod_{j=1}^m q_j(t),$
	$g_{nm}(t) = \sum_{i=1}^n \frac{\left[ \sum_{j=1}^m \left[ \frac{f_{ij}(t)}{q_{ij}(t)} \times \prod_{j=1}^m q_{ij}(t) \right] \right]}{p_i(t)} \times \prod_{i=1}^n p_i(t),$

где  $g_n$  и  $g_m$  – дифференциальные ЗРВ отказов последовательной и параллельной структуры схемы надежности (ССН) соответственно;

$g_{mn}$  и  $g_{nm}$  – дифференциальные ЗРВ отказов параллельно-последовательной и последовательно-параллельной ССН соответственно;

$f_i(t)$  и  $f_j(t)$  – дифференциальные ЗРВ отказов составных элементов (СЭ) последовательных и параллельных ССН соответственно полученных через интеграл свертки согласно ГОСТ РВ 52015-2003;

$p_i(t) = \int_0^{\infty} f_i(\tau) d\tau$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го СЭ;

$q_j(t) = \int_0^t f_j(\tau) d\tau$  – вероятность отказа  $j$ -го СЭ.

делий остается экспериментальный способ на основе накопленной выборки испытуемых изделий, что возможно осуществить не ранее чем через 10–15 и более лет в зависимости от заданной величины  $\gamma$  и установленной периодичности испытаний.

Учитывая эту тупиковую ситуацию, предлагаем для подтверждения требований к надежности изделий на этапе их разработки применять комбинированный подход, включающий экспериментальную кратковременную проверку изделий в предельно допустимых условиях согласно ГОСТ РВ 20.57.413 и ГОСТ РВ 20.57.414 на соответствие требованиям, заданным в ТЗ на их разработку. Подтверждение требований к численным значениям показателей надежности изделий на длительную наработку, заданную в ТЗ, предлагается осуществлять расчетным путем согласно [3] на основе установленных ЗРВ отказов изделий непосредственно по формулам

– вероятность безотказной работы

$$p(t) = \int_t^{\infty} g(\tau) d\tau,$$

– вероятность отказов

$$q(t) = \int_0^t g(\tau) d\tau,$$

– интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{g(t)}{p(t)},$$

– средняя наработка до отказа

$$m = \int_0^{\infty} t g(t) dt,$$

– гамма-процентная наработка  $t\gamma$  как корень уравнения  $G(t\gamma) = \gamma$ , где  $g(t)$  – дифференциальный ЗРВ отказов изделия;

$G(t)$  – интегральный ЗРВ его отказов.

Рекомендуемый подход опробован при расчете надежности аналоговых и цифровых преобразователей угла, причем как при решении прямой, так и обратной задачи. В первом варианте оценке подвергались показатели надежности готовых изделий, построенных по

выбранной ССН с применением необходимых СЭ, а во втором – под заданные требования к надежности изделий на этапе эскизного проектирования формировались предложения к виду исполнения их ССН, близкому к оптимальному, и выставлялись требования к численным значениям показателей надежности их СЭ, которые затем подбирались по справочнику.

Дальнейшее усовершенствование данного подхода на основе полученных результатов позволит путем гипотетического моделирования установить зависимость ЗРВ отказов изделий, а равно и численных значений их показателей надежности, от степени сложности ССН, от количества и качества их комплектации, от достигнутого уровня производства и технологии изготовления, от степени жесткости условий эксплуатации и длительности наработки, а также от других факторов путем пропорционального изменения вида ЗРВ отказов составляющих элементов ССН и их параметров.

Кроме того, следует подчеркнуть, что аналогичным способом можно учесть степень зависимости отказов сопредельных составляющих элементов ССН, режимов форсирования их отказов и много другое.

В заключение отметим, что при задании требований к надежности изделий необходимо обратить внимание на их реальное подтверждение не только с технической, но и с экономической точки зрения, т.к. стоимость длительных испытаний изделий на безотказность при высоком значении гамма будет соизмерима со стоимостью их разработки.

### Библиографический список

1. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск.
2. Справочник. Надежность электрорадиоизделий. ФГУП «22 ЦНИИ Минобороны России», 2006.
3. РД В 22.21-197-2000. Аналоговые и цифровые преобразователи угла. Расчетно-экспериментальная оценка показателей надежности. ФГУП «22 ЦНИИ Минобороны России», 2000.

## КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ НОМЕНКЛАТУРЫ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОМПЛЕКТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЭКИПИРОВКИ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ

А.С. АФАНАСЬЕВ, *зам. нач. управления филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России», канд. техн. наук,*  
В.М. СУСЛОВ, *вед. науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России», канд. техн. наук,*  
М.А. БОЛДЫРЕВ, *ст. науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России»*

*hit-el@ya.ru, maks.boldyrev@mail.ru*

Создание перспективного вооружения, спасательного оборудования и индивидуальной экипировки (ИЭ) военнослужащего в значительной степени обусловлено решением круга специфических задач, возникающих при проведении современных войсковых, миротворческих и спасательных операций, большинство из которых охватывает как труднодоступные участки местности, так и городские районы. Кроме того, возрастает потребность в малочисленных спецподразделениях, способных выполнять поставленные задачи в любых природно-климатических условиях и обстановке с минимальными потерями.

В этих условиях успех будет достигаться, как правило, путем ведения автономных действий мелкими тактическими подразделениями (тактическими группами), рассредоточенными на обширной территории, во взаимодействии с формированиями различных министерств и ведомств. Обеспечение эффективного применения этих подразделений, как показывает опыт, невозможно без использования современной ИЭ военнослужащего [1].

Современная ИЭ военнослужащих основных воинских специальностей представляет собой функционально и конструктивно объединенные элементы систем поражения, управления, защиты, жизнеобеспечения и энергообеспечения при выполнении военнослужащим своих функциональных обязанностей [2].

Одной из основных задач эффективного применения средств ИЭ военнослужащего является обеспечение их автономного электропитания в реальных условиях применения и заданном временном интервале. Создавшееся

положение с обеспечением химическими источниками тока (ХИТ) средств ИЭ военнослужащего (ночных очков, биноклей, прицелов стрелкового оружия, радиостанций тактического звена управления и т.д.) при проведении специальных и спасательных операций отражает действительное состояние, когда затянувшийся переход на новое поколение источников вынудил возвратиться к комплектованию их устаревшими конструкциями ХИТ традиционных электрохимических систем. Эти источники разрабатывались под конкретные объекты применения, что привело к их раз унификации, не взаимозаменяемости с другими ХИТ, близкими по своим техническим характеристикам, к избыточности номенклатуры в подразделениях (более 100 типонаименований), не оправданности количества ЗИП, зарядных устройств и средств технического обслуживания. Низкий уровень унификации ХИТ отрицательно сказывается в сфере эксплуатации аппаратуры, снижает готовность и способность подразделений, а также мобилизационную готовность промышленности на особый период [3].

Отправной точкой начала реализации работ по унификации ХИТ является формирование типовых задач оптимизации номенклатуры ХИТ.

Формулировка типовых задач оптимизации номенклатуры ХИТ непосредственно связана с формированием для этого класса изделий групп однородной продукции, поскольку оптимизировать можно лишь типоразмерные ряды однотипных по функциональному назначению и ограниченно взаимозаменяемых по применению изделий.

Таблицы-сетки требований составляют основу для разработки типажей независи-

мо от конструктивного исполнения изделий и отражают технически обоснованный компромисс между требованиями к ХИТ и возможностями их реализации. Структура построенной размерно-параметрической таблицы-сетки (РПТС) задается выбором определяющих для унификации параметров рассматриваемой группы однородных ХИТ и должна совпадать со структурой построения таблиц номенклатуры в стандартах вида «Типы, основные параметры и размеры. Типаж». Общее же число выделенных групп однородных изделий непосредственно определяет количество стандартов ОТУ и стандартов типажей.

В соответствии с изложенным, основным объектом стандартизации по результатам решения оптимизационных задач является типаж, распространяющийся на группу однородных ХИТ. Анализ действующего в отрасли ХИТ перечня типажей показал, что нет необходимости для каждого конкретного случая ставить и решать индивидуальную оптимизационную задачу. Имеющийся опыт решения оптимизационных задач унификации указывает на возможность их типизации, причем в основу такой типизации следует положить степень аппаратурной ориентированности ХИТ, включаемых в типаж. Для ХИТ степень аппаратурной ориентированности определяется в основном сочетанием двух факторов:

- способа задания требований к режимам разряда;
- многообразие объектов применения ХИТ.

Для ХИТ, входящих в состав систем энергообеспечения средств ИЭ, характерно большое многообразие режимов разряда. Номенклатура таких ХИТ базируется в основном на первичных элементах и аккумуляторах, разрабатываемых безотносительно к конкретным объектам применения. Их габариты выбираются из единого размерного ряда элементов и аккумуляторов с указанием номинального режима разряда. Батареи при этом формируются под стандартные значения рабочего напряжения для наиболее жесткого режима эксплуатации. Спрос на батареи портативного применения носит вероятност-

ный характер, поскольку сама совокупность радиоэлектронных средств ИЭ, для которой предназначена рассматриваемая номенклатура ХИТ, в существенной степени зависит от характера и способов действия вероятного противника, условий применения ХИТ в составе изделий и многих других факторов, трудно прогнозируемых и принципиально недетерминированных [4].

Исходная математическая постановка задачи оптимизации типа  $A$  состоит в следующем. Предположим, что качественный состав спроса определен, т.е. установлено  $J\{1, 2, \dots, n\}$  групп средств ИЭ, в которых может применяться рассматриваемая номенклатура ХИТ. Каждая  $j$ -тая потребность ( $j = \overline{1, l}; j \notin J; l \leq n$ ) характеризуется набором требований к параметрам источника. В свою очередь, каждое  $P_j$  – требование ( $p_j \in P_j$ ) задано одним или несколькими числовыми значениями (диапазона значений), включенными в РПТС требований.

Количественный состав спроса, представляющий собой объем поставок ХИТ для удовлетворения  $j$ -ой потребности, является случайной величиной  $\xi_j$ . Полагаем, что в наиболее общем случае  $\xi_j$  распределена по биномиальному закону и характеризуется математическим ожиданием  $b_j$ . Совокупность типоразмеров ХИТ, каждый из которых может быть использован для удовлетворения определенного вида спроса из множества  $J$  с уровнем эффективности не ниже заданного, включает  $m$  типов изделий. При этом, считая (по аналогии с множеством видов спроса), порядковый номер изделий характеристикой, в соответствии с которой может быть поставлен весь набор определяющих для унификации параметров ХИТ, представим исходную совокупность их типоразмеров множеством  $I\{1, 2, \dots, m\}$ . Это множество формируется на основе действующего в отрасли единого габаритного ряда первичных элементов и аккумуляторов  $R\{1, 2, \dots, r\}$ , каждый член которого характеризуется множеством электрохимических систем и конструктивных решений.

Возможность обеспечения  $j$ -го вида потребностей источником тока  $i$ -го типа определяется матрицей замен  $\|\delta_{ij}\|$ ,  $i \in I$ ,

$j \in J$ , причем  $\delta_{ij} = 1$ , если  $j$ -й вид потребностей может быть удовлетворен  $i$ -м типом ХИТ, и  $\delta_{ij} = 0$  в противном случае. Для  $i \in I$  считаем также известными значения начальных затрат на разработку  $C_i^0$  и производственно-эксплуатационных затрат на один источник  $C_i$ . Очевидно, что если вероятность события  $\xi_j = \xi_{j\max}$  мала, то целесообразнее ориентироваться при определении спроса на математическое ожидание  $b_j$  или на квантиль распределения  $\gamma_j$ . За возможное неполное удовлетворение спроса вводится штраф  $C_i^1 (j \in J)$ .

Исходные данные позволяют сформулировать задачу оптимизации номенклатуры ХИТ, применяемых в системах энергообеспечения прицельно приборного комплекса ИЭ (задачу типа А), следующим образом.

Требуется определить оптимальный типоразмерный ряд ХИТ  $W_{opt}$ , обеспечивающий минимум суммарных затрат

$$C = \min_{y_j, x_{ij}} \left\{ \sum_{i \in I} C_i^0 y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} C_j^1 Q_{ij}(z_{ij}) x_{ij} \right\} \quad (1)$$

при ограничениях

$$i \in I, \text{ если } D_{ij} \geq D_{доп}; \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \delta_{ij} x_{ij} = 1, j \in J; \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq y_i, i \in I, j \in J; \quad (4)$$

$$y_i, x_{ij} \in \{0, 1\}, i \in I, j \in J,$$

где

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если ХИТ } i\text{-го типа используется} \\ & \text{для удовлетворения потребностей} \\ & j\text{-го вида,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

$C_{ij} = C_i Z_{ij}$  – затраты, связанные с использованием ХИТ  $i$ -го типа для обеспечения потребностей  $j$ -го вида,

$Q(Z_{ij})$  – математическое ожидание величины дефицита в ХИТ  $i$ -го типа при использовании их в качестве  $Z_{ij}$  для удовлетворения потребностей  $j$ -го вида,

$D_{ij}, D_{доп}$  – значения обобщенного показателя эффективности применения  $i$ -го ХИТ для обеспечения  $j$ -ой потребности и допустимое значение этого показателя [5].

Для рассматриваемого случая  $D_{ij}$  может служить показателем технического уровня ХИТ, предназначенного для удовлетворения заданной потребности.

Применительно к ХИТ однотипного функционального назначения (задача оптимизации типа Б) характерно большое количество объектов применения при идентичных режимах разряда. Примером этой группы ХИТ являются аккумуляторные батареи для портативных и носимых средств связи. Батареи разрабатываются под классы радиостанций в зависимости от требуемой дальности связи и времени непрерывной работы. Для увеличения этих показателей может использоваться несколько батарей одного типоразмера. Потери от унификации (избыточный расход активных материалов электродов) в основном компенсируются за счет вторичной переработки сырья.

Постановка задачи типа Б следующая. Задано множество потребностей  $J\{1, 2, \dots, n\}$ , которые необходимо удовлетворить ограниченным исходным множеством батарей  $I\{1, 2, \dots, m\}$ . Требуется определить множество ХИТ  $W\{1, 2, \dots, k\}$ , составляющих оптимальный типоразмерный ряд  $W_{opt}$ , для которого

$$D_{ij} \geq D_{доп}, i = \overline{1, m}; \quad (5)$$

$$j = \overline{1, n}, i \in W, W \subset I, k \leq m$$

и обеспечивается минимум суммарных затрат

$$C = \min \sum_{i \in W} C_i^0 + C_i Z_i \quad (6)$$

при условии

$$\sum_{j=1}^m \alpha_{ij} \beta_{ij} = Z_i, \quad \forall i \in W, \sum_{i \in W} \beta_{ij} = y_i, j = 1,$$

где  $C_i^0, C_i$  – постоянные затраты на разработку и затраты на производство и эксплуатацию ХИТ  $i$ -го типа, соответственно;

$Z_i$  – общее количество ХИТ  $i$ -го типа;

$\alpha_{ij}$  – количество ХИТ  $i$ -го типа, необходимое для обеспечения потребности  $j$ -го вида;

$\beta_{ij}$  – количество ХИТ  $j$ -го вида, необходимое для обеспечения потребности  $i$ -го типа;

$y_i$  – суммарное количество потребностей  $j$ -го вида, обеспечиваемых ХИТ  $i$ -го типа;

$D_{ij}$ ,  $D_{доп}$  – аналогично с (2), с тем лишь отличаем, что  $D_{ij}$  – обобщенный показатель, характеризующий меру соответствия параметров ХИТ требованиям для заданного вида потребности

Для ХИТ, ориентированных под конкретные объекты применения, такие как комплекс разведки, управления и связи и индивидуальные средства навигации (задача оптимизации типа В), характерна жесткая привязка по конструкции и режимам разряда к объекту применения. При этом каждая из разработанных батарей может рассматриваться как базовая для близких по энергопотреблению средств боевой экипировки, либо после подтверждения ее работоспособности в режимах, отличных от установленных в ТУ, либо (при необходимости) после ее модернизации. В рассматриваемом случае задача оптимизации номенклатуры ХИТ сводится к формированию оптимального типоразмерного ряда базовых конструкций батарей. При этом приходится решать вопрос о целесообразности создания для нового образца или новой батареи, или (с допустимым уровнем потерь от унификации) применения модернизированной на основе одной из базовых батарей. В ряде случаев возможна доработка радиоэлектронных средств ИЭ под исходную базовую или модернизируемую батарею.

Дадим постановку рассматриваемой задачи. Задано множество потребностей  $J\{1, 2, \dots, n\}$ , часть которых обеспечена множеством ХИТ  $I\{1, 2, \dots, m\}$ , уже разработанных под конкретные объекты применения ( $m \leq n$ ). Необходимо определить множество ХИТ  $W$ , удовлетворяющее множеству потребностей  $J\{m + 1, m + 2, \dots, n\}$  при заданном уровне обобщенного показателя эффективности  $D_{доп}$  и минимума суммарных затрат  $C$  (6). В целевой функции в отличие от (6) необходимо учитывать затраты на проведение дополнительных испытаний или затраты на модернизацию батарей из исходного типоразмерного ряда. В том случае, когда существующее множество

источников тока  $I$  не может обеспечить множество потребностей  $J^1$  или когда они обеспечиваются с низким уровнем эффективности, множество  $W$  необходимо формировать на основе принципиально новой номенклатуры ХИТ (создавать источники тока новых конструкций и на новых электрохимических системах), для которого удовлетворяется условие (5) и по (6) допускается  $C_{min}(W) \geq C_{min}(W^1)$ .

Для всех типовых задач выбран критерий оптимизации «эффективность–стоимость». Его содержание конкретизируется в зависимости от способов формирования таблиц-сеток требований к параметрам ХИТ, от их технического уровня и особенностей эксплуатации. При этом критерий эффективности выполняет роль ограничения на этапе формирования матрицы замен, допуская на этап оптимизации соразмерного ряда лишь те изделия, для которых  $D_{ij} \geq D_{доп}$ . Таким образом, последующий этап оптимизации ведется уже только по стоимостному критерию [6]. Сопоставляя требования к группировкам средств боевой экипировки, зафиксированные в ОТТ, с параметрами ХИТ, и задавая различные уровни обобщенного показателя эффективности применения  $D_{доп}$ , получаем наборы вариантов в виде конструктивных и типоразмерных рядов изделий для принятия решений по управлению номенклатурой. Эти решения должны учитывать дополнительные не формализованные при постановке оптимизационной задачи ограничения, такие как производственные возможности подотрасли, наличие необходимой сырьевой базы, объемы финансирования и т.д.

Таким образом, по признакам распределения номенклатуры ХИТ для радиоэлектронных средств ИЭ определены три специфические группировки изделий:

- номенклатура прицельно приборного комплекса (задача оптимизации типа А);
- номенклатура портативных и носимых средств связи, (задача оптимизации типа Б);
- номенклатура ХИТ, ориентированных под конкретные объекты применения, такие как комплекс разведки, управления и связи и индивидуальные средства навигации (задача оптимизации типа В).

При решении типовых задач в качестве основного критерия оптимизации предлагается «эффективность–стоимость». При этом критерий эффективности играет роль ограничения на этапе формирования матрицы замен, а стоимость минимизируется на последующем этапе оптимизации при заданном уровне обобщенного показателя эффективности применения.

### Библиографический список

1. Экспериментально-теоретические исследования путей повышения боевого потенциала военнослужащих СВ, ВДВ и частей специального назначения за счет создания боевой экипировки как единого комплекса систем, разрабатываемых на основе высоких технологий. Отчет о НИР «Превосходство». КЛ.: ФГУП «ЦНИИТОЧМАШ», 2005.
2. «Концепция развития боевой экипировки военнослужащих основных военных специальностей Сухопутных и Воздушно-десантных войск на период до 2016 года», 2006.
3. Промежуточные отчет ФГУП «ЦНИИТОЧМАШ», этапы 1 и 2.1 по НИР «Физкультурник», 2006.
4. Алексеев, О.Г. Оптимизация одномерных параметрических рядов при вероятностном спросе / О.Г. Алексеев, Ю.Д. Тябин, Н.И. Ячкула // Стандартизация военной техники, 1986. – № 2.
5. Тябин, Ю.Д. Оптимизация номенклатуры химических источников тока для военной техники при разработке стандартов вила «Типы, основные параметры и размеры. Типаж» / Ю.Д. Тябин, В.В. Трейер, О.Г. Алексеев, В.А. Кежаев // Стандартизация военной техники, 1984. – № 4.
6. Трейер, В.В. Некоторые вопросы системного анализа оптимальности выбора отдельных типов изделий для применения в аппаратуре / В.В. Трейер // Труды в/ч 67947, 1977. – Вып. № 13.

## ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИТИЕВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

О.И. БЕЛОВ, *ст. науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России»*, канд. техн. наук,  
 М.А. БОЛДЫРЕВ, *ст. науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России»*,  
 П.С. ВОРОНЦОВ, *науч. сотр. филиала ФБУ «46 ЦНИИ Минобороны России»*,  
 Е.А. НИЖНИКОВСКИЙ, *ст. науч. сотр. Межведомственного научного совета по комплексным проблемам физики, химии и биологии при Президиуме РАН*, д-р техн. наук

*nizhnikovsky@mail.ru*

Необходимость проведения исследований в области безопасности литиевых химических источников тока (ХИТ) вызвана тем, что наряду с такими преимуществами по сравнению с традиционными системами, как высокое напряжение, высокая плотность энергии, широкий диапазон рабочих температур, длительный срок хранения, основным недостатком данных ХИТ является их повышенная пожаро- взрывоопасность, т.е. возможность возникновения в определенных условиях неуправляемых спонтанных химических реакций, приводящих к отказам изделия.

В настоящее время литиевые ХИТ широко применяются для электропитания различных объектов. Выход из строя этих химических источников тока может привести к отказу дорогостоящих систем и комплексов. Параметром, в значительной степени опре-

деляющим область использования литиевых ХИТ, является их взрывобезопасность [1].

Под взрывобезопасностью специалисты подразумевают свойство, характеризующее способность элемента (батареи) преобразовать максимальное количество запасенной в нем (ней) химической энергии в электрическую без нарушения целостности и работоспособности ХИТ во всем диапазоне физических нагрузок (электрических, механических, климатических и других возможных видов воздействия), которым может подвергаться каждый конкретный вид оборудования в каждом конкретном условиях эксплуатации.

Опыт многолетней эксплуатации ХИТ в самых различных условиях позволяет все источники тока по взрывоопасности разбить на следующие группы (в порядке уменьшения опасности):

1) литиевые элементы с жидким окислителем ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SOCl}_2$  и др.);

2) литиевые аккумуляторы с жидким окислителем ( $\text{SO}_2$  и др.);

3) литиевые аккумуляторы с твердым окислителем ( $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Li}_x\text{V}_3\text{O}_8$ ,  $\text{Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Li}_x\text{CoO}_2$  и др.);

4) литиевые элементы с твердым окислителем ( $\text{MnO}_2$ ,  $(\text{CF}_x)_n$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{I}_2$  и др.);

5) источники тока нелитиевых систем ( $\text{MnO}_2$ -Zn,  $\text{HgO}$ -Zn), аккумуляторы различных систем и др.).

На сегодняшний день проблема обеспечения взрывобезопасности высокоэнергетических литий-тионилхлоридных (ЛТ) элементов с большой емкостью и мощностью остается серьезной проблемой, препятствующей их широкому внедрению. В отдельных случаях при хранении или эксплуатации ЛТ элементов наблюдаются их разгерметизация и взрывы. Хотя количество таких взрывов невелико, из-за большой их силы и возможного вредного воздействия тионилхлорида на аппаратуру и обслуживающий персонал проблеме выяснения и устранения причин таких взрывов уделяется большое внимание [1].

Анализ причин, приводящих к взрывам ХИТ, позволяет разделить их на следующие основные группы:

– причины эксплуатационного характера, связанные с разрядом в условиях, не соответствующих техническим условиям и инструкции по эксплуатации, короткими замыканиями, перегревом, механическими воздействиями, переплюсовкой;

– причины конструкторско-технологического характера, связанные с недоработками на этапе конструирования и изготовления ХИТ;

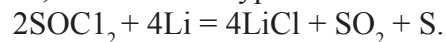
– причины иного характера.

ЛТ элементы представляют наибольшую потенциальную опасность. Стремление создать максимально энергоемкий источник тока, а, следовательно, в ограниченном объеме сосредоточить максимально возможный запас энергии, косвенным образом стало причиной взрывоопасности литиевых ХИТ. Возможны следующие аварийные ситуации: взрыв, разгерметизация, течь электролита.

Взрыв может произойти из-за перегрева, перезаряда или переразряда, короткого замыкания, повреждения корпуса и других нарушений условий эксплуатации.

Сами компоненты указанных элементов (материал анода, растворитель, электролит) весьма агрессивны и токсичны, поэтому их опасность для человека не вызывает сомнений и правила эксплуатации элементов системы литий-тионилхлорид должны предусматривать мероприятия, препятствующие разгерметизации элементов и прямому контакту человека с указанными выше соединениями.

Причиной взрывов ЛТ элементов могут служить различные нестабильные вещества, образующиеся при разряде и хранении. Согласно принятой в настоящее время концепции, основная реакция, протекающая в элементе, описывается уравнением



Однако в процессе этой реакции образуется много промежуточных соединений, влияющих на стабильность режима эксплуатации элементов.

Дей придерживается мнения, что восстановление тионилхлорида происходит с образованием бирадикала  $2\text{SO}$ , который стабилен в электролите и вступает в последующие химические превращения, результатом которых является появление в электролите легко разлагающегося оксида  $\text{S}_2\text{O}$  [6].

Истон и Брод предложили механизм восстановления исходного вещества с образованием  $\text{S}_2\text{O}$ , разложение которого может приводить к взрыву [7]. Поскольку  $\text{S}_2\text{O}$  стабилен при отрицательных температурах, но низкотемпературные разряды, особенно идущие с большой скоростью, могут вести к образованию в элементах повышенных концентраций  $\text{S}_2\text{O}$ , который при нагревании элементов до комнатной температуры быстро распадается с выделением большого количества тепла и повышением давления за счет образования  $\text{SO}$ , что приводит в отдельных случаях к разгерметизации элемента.

Полная разрядная кривая ЛТ элементов приведена на рисунке 1 [1]. Участки кривой *a* и *b* хорошо известны. При дальнейшем пропускании тока происходит переплюсовка



ХИТ и напряжение некоторое время держится на уровне минус 1 В (участок *в* определяется наличием на аноде избытка лития).

После полного растворения последнего наступает дальнейшее повышение напряжения, связанное с началом нового процесса (участок *з*). При плотности тока 10 мА/см<sup>2</sup> через 40–60 ч заряда по достижении напряжения минус 4–5 В наблюдались отдельные случаи взрывов. Их причиной являлось обильное газовыделение и повышение температуры, приводящее к значительному повышению внутреннего давления. Поскольку подбор в батарею элементов с одинаковой емкостью проблематичен, были исследованы пути предупреждения переплюсовки элементов. Показано, что если параллельно с каждым элементом в последовательной цепи поставить диод, то при увеличении напряжения на переплюсовываемом элементе до 0,2–0,3 В (германиевый диод) и 0,6–0,7 В (кремниевый) происходит их открытие и ток пойдет через диод, минуя ХИТ.

Использование результатов последних научных разработок, новых конструкторско-технологических решений, улучшение технологической дисциплины и культуры производства при изготовлении и эксплуатации литиевых ХИТ, пооперационного контроля процесса их изготовления и неразрушающих методов контроля качества готовой продукции привели в последние годы к существенному снижению количества взрывов литиевых ХИТ (менее одного в год). Причем, все достоверно зафиксированные случаи были связаны с грубыми нарушениями инструкций по их эксплуатации. Производство литий-тионилхлоридных ХИТ во всем мире значительно расширилось как по количеству, так и по номенклатуре, что свидетельствует о более широком использовании их в различных областях техники, а также косвенно – о повышении их взрывопожаробезопасности.

По сравнению с литиевыми системами с жидкими катодами (SO<sub>2</sub>, SOCl<sub>2</sub>) системы с твердыми катодами считаются относительно безопасными. Тем не менее, в условиях внешнего или внутреннего короткого замыкания элемента требуются определенные меры безо-

пасности, т.к. заложенная энергия в аккумуляторе способна разогреть его до температуры плавления лития (186 °С), в результате чего произойдет прямая реакция лития с окислителем с возрастанием температуры и давления внутри аккумулятора и, соответственно, произойдет разгерметизация аккумулятора. В НПП «КВАНТ» был разработан и исследован микропористый сепаратор ПСА-8 для ХИТ [2–5], который, кроме основной функции, еще предназначался для блокирования электрохимической реакции в результате внешнего короткого замыкания. Сепаратор был апробирован в первичных ХИТ (Блик-3, Блик-2, имеющие емкость 1,2 А·ч) и показал хорошие результаты как по электрическим характеристикам, так и по пожаровзрывобезопасности. Были проведены испытания первичных элементов электрохимических систем: Li/MnO<sub>2</sub> и Li/(CF<sub>x</sub>)<sub>n</sub> и аккумулятора электрохимической системы Li/Li<sub>x</sub>V<sub>3</sub>O<sub>8</sub> с использованием сепаратора ПСА-8 на пожаровзрывобезопасность в режиме внешнего короткого замыкания (К.З.) на нагрузку R<sub>n</sub> = 0,08 Ом, результаты которого приведены на рис. 2.

Из кривых, зависимости тока короткого замыкания, температуры на корпусе от времени видно, что ток короткого замыкания составляет 10–12А в момент включения нагрузки, что на ~ 40 % больше, чем в первичных ХИТ Li/(CF<sub>x</sub>)<sub>n</sub> электрохимической системы. Описание характера кривой тока К.З.

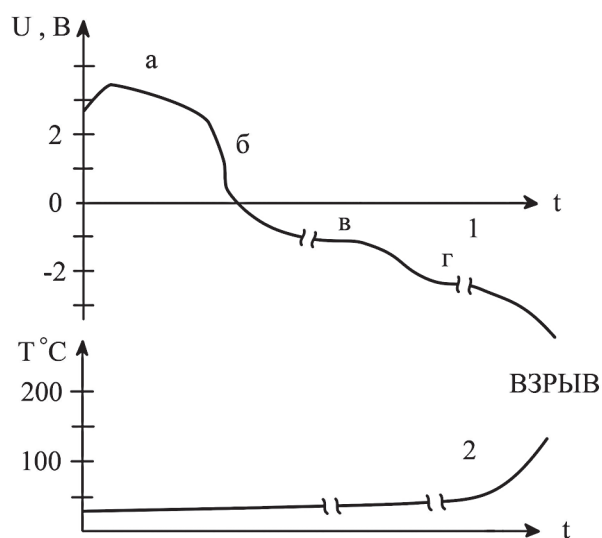


Рис. 1. Полная разрядная кривая ЛТ элементов (1) и изменение температуры в процессе их разряда (2)

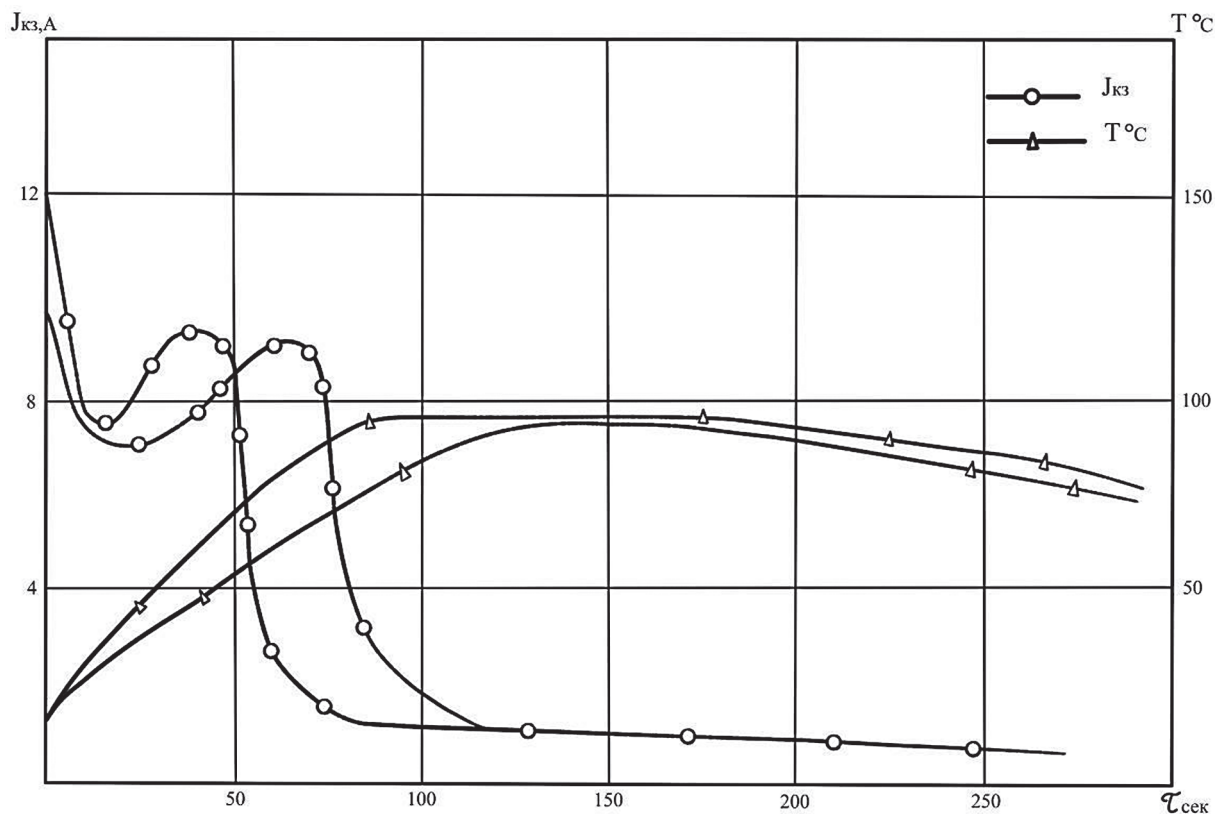


Рис. 2. Зависимость тока К.З. и температуры на корпусе аккумулятора при  $R_{н} = 0,08$  Ом, типоразмера 316

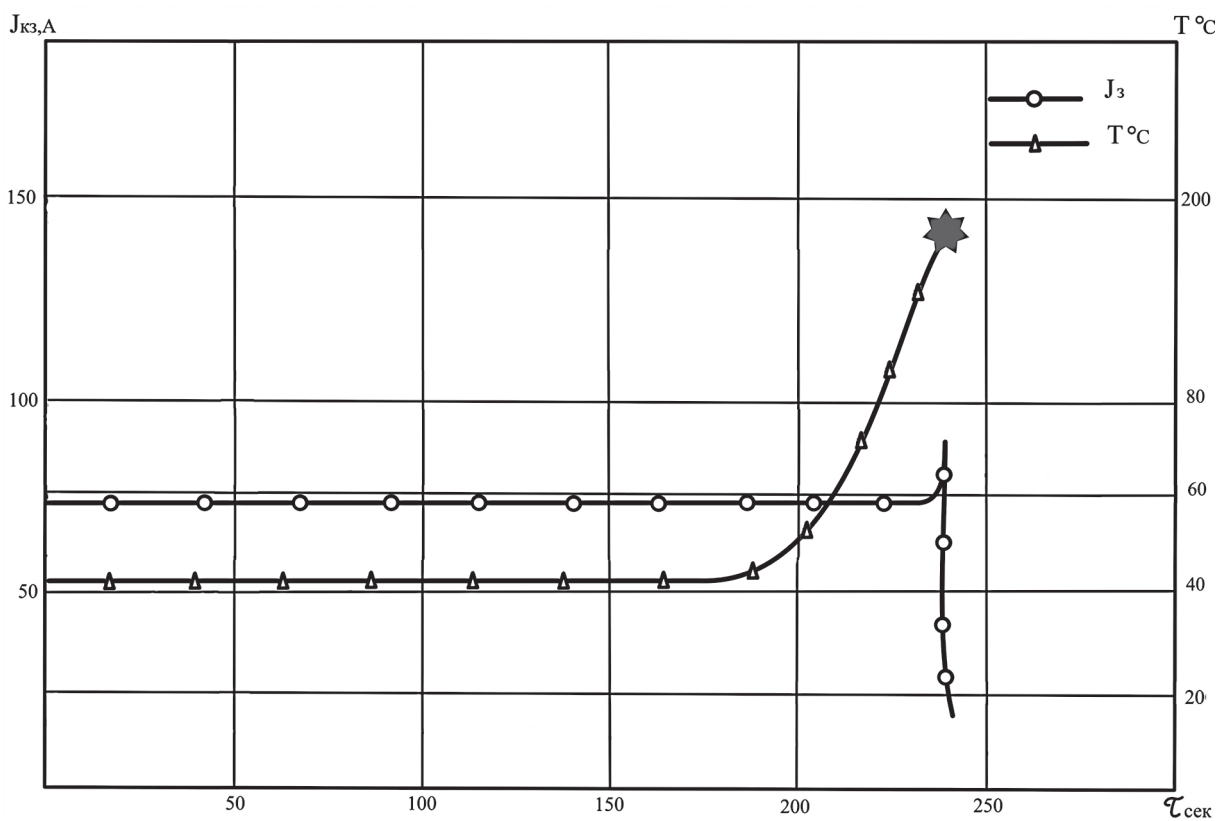


Рис. 3. Разгерметизация элемента, обусловленная химическим взаимодействием литиевой губки с продуктами разложения электролита

следующее: в момент включения – пиковый бросок тока К.З., затем ток падает, что соответствует пассивации электродов, далее возрастает, что связано с увеличением температуры внутри аккумулятора, а при достижении температуры внутри аккумулятора 100 °С ток резко падает, что обусловлено заплыванием пор сепаратора и блокированием электрохимической реакции. Но так как ток падает не до нуля, а находится на уровне 1А, то, соответственно, закрытие пор сепаратора – не 100 %, что подтверждает анализ сепаратора, прошедшего термообработку при 100°С. Остаточная пористость сепаратора составила ~10 %. Анализ температурной зависимости показывает, что при снижении тока К.З. до 1А температура на корпусе элемента начинает уменьшаться. Максимальная температура на корпусе аккумулятора составила 90 °С.

Внутреннее К.З., как показала практика изготовления и испытания аккумуляторов (заливка закороченных элементов электролитом и прораствание дендритов во время циклирования), не приводит к интенсивному разогреву и соответственно разгерметизации аккумуляторов. Вероятность пожаровзрывоопасности аккумулятора, возможно, появится лишь при эффективности циклирования (с чистым литиевым анодом) более 90 %, что имело место при испытаниях электрохимической системы  $\text{Li/Li}_{1+x}\text{V}_3\text{O}_8$  – анодом из чистого лития и электролитом: 1,5  $\text{Li/Li}_{1+x}$  ТГФ/2М ТГФ, с содержанием воды ~0,2 %. На 130 цикле заряда, когда эффективность циклирования лития достигла 94 % (130 цикл), произошла разгерметизация

элемента, обусловленная химическим взаимодействием литиевой губки с продуктами разложения электролита (рис. 3).

Из литературных источников известно, что растворитель ТГФ неустойчив во времени и способен к разложению, и это, по всей видимости, вызвало химическую реакцию продуктов разложения электролита (ТГФ) и литиевой губки. При работе с другими электролитами, а именно, с базовым электролитом 1М  $\text{LiClO}_4$ , пропиленкарбонат (ПК)– диметоксиэтан (ДМЭ) с добавкой фенантренина такого явления не наблюдалось.

Замена же чистого литиевого анода на композиционный анод ( $\text{LiAl}$ ,  $\text{LiSn}$  и т.д.) исключает нарастание неактивного лития (губки лития) и, соответственно, степень пожаровзрывобезопасности резко возрастает.

#### Библиографический список

1. Нижниковский, Е.А. II Тез. докл. V Междунар. конф. «Фундаментальные проблемы преобразования энергии в литиевых электрохимических системах» / Е.А. Нижниковский. – СПб., 1998. – С. 106.
2. А.с. № 1730994. Микропористый сепаратор для химического источника тока с органическим электролитом. Белов О.И. От 3.01.92. (дсп).
3. Белов О.И. Т.О. по темам: «УНИА» 92 г., «Акведук-А» 98 г., ГНПП «Квант».
4. А.с. № 1367783. Химический источник тока. Белов О.И.. От 15.09.87 (дсп).
5. А.с. № 1410798. Аккумулятор. Белов О.И. От 15.03.88 (дсп).
6. Dey A.N. II Proc. 28th Power Sources Conf. Atlantic City, N.J. The Electrochem. Soc. Inc. 1978. P.251.
7. Istone W.K., Brodd R.J. The Electrochem. Soc. Inc. 1984. V.131, № 12. P.2467.

## ВНЕДРЕНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В СИСТЕМУ ТАРИРОВКИ И ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Н.Г. СЕРЕГИН, доц. каф. стандартизации и сертификации МГУЛ, канд. техн. наук,  
С.В. СОРОКИН, асп. каф. стандартизации и сертификации МГУЛ

*caf-sertif@mgul.ac.ru*

Для измерения температуры в промышленных условиях разработано множество методов на основе оптических волокон наряду с традиционными системами измере-

ний температур. В основу классификации волоконно-оптических датчиков целесообразно положить различия оптических схем модуляции света. Применение оптических схем,

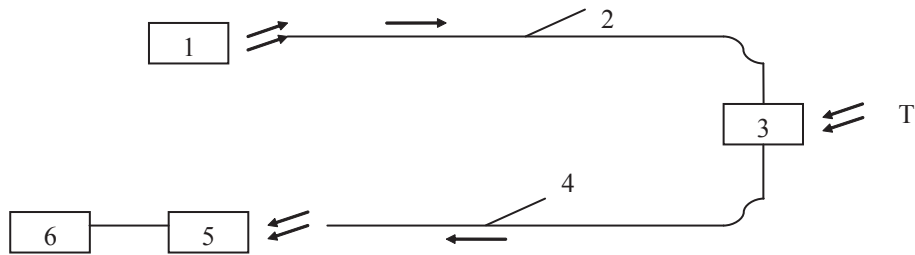


Рис. 1. 1 – источник света; 2 – подводящий световод; 3 – термочувствительный элемент; 4 – отводящий световод; 5 – фотопреобразующее устройство; 6 – электронный блок обработки сигналов

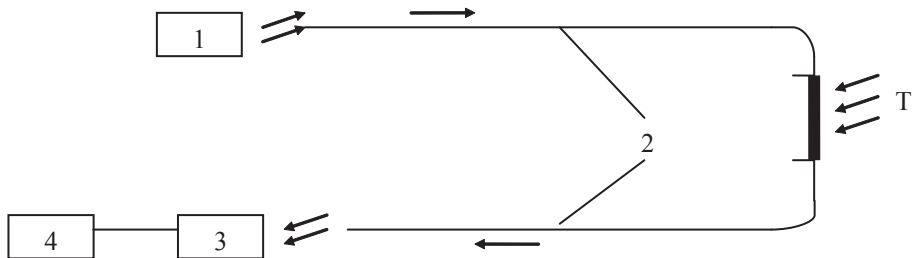


Рис. 2. 1 – источник света; 2 – световод; 3 – фотопреобразующее устройство; 4 – электронный блок обработки сигналов

построенных на основе законов физической оптики, позволяет получить значение температуры в реперных точках международной шкалы с прогнозируемой погрешностью, что позволит производить тарировку традиционных датчиков температуры с расчетной погрешностью. Это схемы датчиков, действие которых основано на амплитудной модуляции света, фазовой модуляции света (интерференционные), поляризационные датчики и частотные датчики.

Наиболее точными являются датчики, действие которых основано на фазовой модуляции света. В датчике с фазовой модуляцией на световодное волокно воздействуют регистрируемые физические возмущения (температура и др.), вызывая изменения фазы проходящего по волокну света. Возникающий сдвиг фазы регистрируется интерферометром. Сенсорные устройства с фазовой модуляцией значительно сложнее устройств с амплитудными датчиками, дороже их, но чувствительность и точность датчиков с фазовой модуляцией гораздо выше.

Такие преимущества волоконно-оптических систем измерения температуры, как высокая точность, высокая чувствительность, малые габариты и вес, возможность получения цифрового, а не аналогового сигнала, который упрощает обработку инфор-

мации, позволяют использовать вышеназванные системы при тарировке и испытаниях на проверку точности измерения, выпускаемых промышленностью датчиков температуры.

В настоящее время в России перестали производить платиновую проволоку необходимого качества для производства образцовых измерительных систем. И в связи с этим все образцовые датчики температуры изготавливаются из платиновой проволоки производства Германии.

Поэтому предлагается использовать при тарировке термометров сопротивления волоконно-оптический датчик температуры вместо образцового платинового.

Волоконно-оптические системы измерения обладают следующими преимуществами:

- помехозащищенность от электромагнитных полей;
- высокая чувствительность;
- малые габариты и вес;
- высокая коррозионная и радиационная стойкость;
- электроизоляционная прочность.

Использование оптических волокон для измерения физических параметров началось с 70-х годов прошлого столетия. С тех пор выполнено множество исследований и разработок по оптико-волоконным датчикам,

предназначенным для применения во многих отраслях промышленности. Первоначально такие датчики использовались в агрессивных внешних средах, при воздействии высокого уровня электромагнитных помех, в условиях радиации, где традиционные датчики не могут работать соответствующим образом. В дальнейшем было продемонстрировано, что, например, управление производственным процессом может осуществляться с помощью оптических устройств, и с 90-х годов прошлого столетия предпринимаются попытки начать серийное изготовление волоконно-оптических датчиков различных типов.

Оптические волокна используются для оценки воздействующих явлений внешней среды двумя различными способами. Волоконно-оптические датчики температуры можно разделить на следующие две группы:

1. В первом случае, волоконный световод используется лишь для подвода и отвода световой энергии к термочувствительному элементу (рис. 1)

2. Во втором случае, световод выполняет роль чувствительного элемента (рис. 2).

С точки зрения промышленного применения использование волоконно-оптических датчиков температуры привлекательно, поскольку они имеют превосходную чув-

ствительность, компактны, надежны, не требуют сложной преобразующей аппаратуры, а в случае их серийного изготовления имеют низкую себестоимость. В частности, в химической промышленности волокна можно прокладывать везде, и они не требуют защитных электроизоляционных трубок. Во взрывоопасной окружающей среде при применении электронных измерительных устройств, для защиты от искр требуется защитное заземление. При применении волоконно-оптических датчиков в этом нет необходимости, что является несомненным преимуществом. Все больше в производстве для передачи данных технических измерений используется оптоволокно, что ставит переход от традиционных датчиков к оптико-волоконным закономерным. Однако не всегда имеется возможность заменить традиционные датчики (термометры сопротивления, термопары и т.д.) на оптико-волоконные. Это потребует значительных затрат на применение таких измерительных систем в действующих измерительных системах. Целью предстоящей работы является создание системы тарировки и поверки в производственных условиях измерительного комплекса для поверки и тарировки датчиков температуры на основе термопар и термометров сопротивления.

## ОБ ОДНОМ ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ ДОБЫЧИ НЕФТИ

В.Б. САПОЖНИКОВ, *ген. директор ООО НТВЦ «ЭДУКОН», д-р техн. наук,*

Е.В. РЫЖОВ, *ген. директор ООО «РАМ», канд. техн. наук,*

А.В. КОРОЛЬКОВ, *проф. каф. ПМ МГУЛ, д-р физ.-мат. наук*

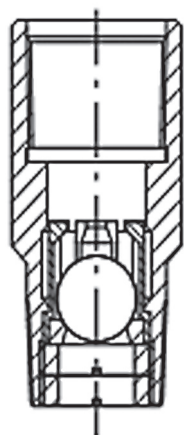
*edukon@yandex.ru, mail@ramtech.su*

**В**нефтяной промышленности России и других стран мира большинство действующих нефтедобывающих скважин оснащают штанговыми скважинными насосными установками (ШСНУ) либо скважинными центробежными насосными установками (УЭЦН). И в том, и в другом случаях себестоимость добычи нефти будет, в числе других факторов, определяться затратами электроэнергии на обеспечение работы указанных

насосных установок. В общем случае эти затраты обусловлены потребным напором для подъема нефти на поверхность и преодоления гидравлического сопротивления арматуры нефтяных скважин. Одним из основных элементов арматуры нефтяных скважин являются всасывающие и обратные клапаны, величина гидравлического сопротивления которых будет оказывать заметное влияние на экономическую эффективность работы

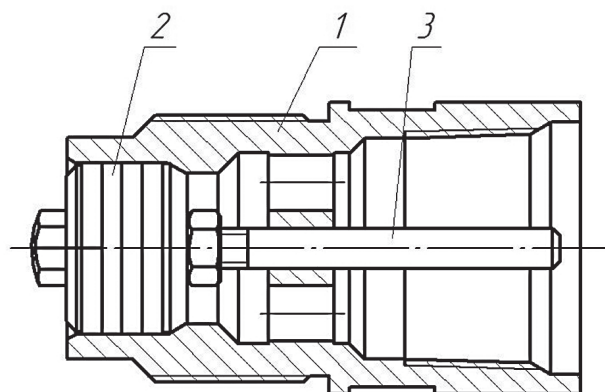
Значения коэффициентов аппроксимирующей формулы (1)

Изделие	Диапазон чисел Рейнольдса	Значения коэффициентов в формуле (1)		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>M</i>
Клапан всасывающий «Норма-44» КЗВ 44/38М № 093	$50 < Re < 2,5 \cdot 10^3$	-880	$1,58 \cdot 10^9$	-1,77
	$2,5 \cdot 10^3 < Re < 1,35 \cdot 10^5$	5,98	$2,98 \cdot 10^8$	-1,65
Клапан всасывающий шаровой типа КОШ	$50 < Re < 700$	$4,375 \cdot 10^5$	$2,51 \cdot 10^6$	-0,27
	$700 < Re < 2,5 \cdot 10^4$	13,13	$5,15 \cdot 10^9$	-1,9
	$2,5 \cdot 10^4 < Re < 1,5 \cdot 10^5$	0,13	$2,8 \cdot 10^4$	-0,65



Клапан обратный

Рис. 1. Шаровой всасывающий клапан КОШ



1 – корпус  
2 – золотник  
3 – штоп

Рис. 2. Золотниковый всасывающий клапан КЗВ

нефтедобывающих предприятий. Поэтому снижение гидравлического сопротивления всасывающих и обратных клапанов насосных установок нефтедобывающих скважин является одним из возможных направлений решения проблемы снижения себестоимости добываемой нефти.

До последнего времени основным типом всасывающих и обратных клапанов насосных установок нефтедобывающих скважин были шаровые клапаны типа КОШ (рис. 1).

Эти клапаны достаточно просты по конструкции, технологичны, следовательно, дешевы и просты в изготовлении, однако обладают весьма серьезным недостатком: имеют значительное гидравлическое сопротивление, на преодоление которого необходимо затрачивать дополнительную энергию.

В ООО «РАМ» (г. Юбилейный, Московская область) разработана и предлагается к реализации новая конструкция всасывающих и обратных клапанов насосных установок нефтедобывающих скважин, имеющая гораздо

более низкие значения гидравлического сопротивления. В предлагаемой конструкции (рис. 2) в качестве уплотнительного элемента вместо шара используют плунжер (золотник), поэтому данные клапаны получили название золотниковых.

В результате выполненных ООО НТВЦ «ЭДУКОН» [1] экспериментальных исследований были определены значения коэффициента местного гидравлического сопротивления  $\zeta_m$ , который находят как отношение потерь полного давления  $\Delta p_m$  к скоростному напору (динамическому давлению) на входе в клапан, то есть

$$\zeta_m = 2 \cdot \Delta p_m / (\rho \cdot u^2),$$

где  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$u$  – скорость потока на входе в клапан, м/с.

Полученные в процессе этих исследований экспериментальные данные о величине коэффициента местного гидравлического сопротивления  $\zeta_m$  для двух моделей клапанов (золотниковый всасывающий клапан «Норма-44» конструкции ООО «РАМ» и шаровой всасыва-

ющий клапан типа КОШ) представлены на рис. 3 в виде графика зависимости  $\zeta_m = f(Re)$ .

Здесь число Рейнольдса  $Re = u \cdot d / \nu$ , где  $d$  – диаметр трубопровода на входе в клапан ( $d = 42$  мм) и  $\nu$  – кинематическая вязкость нефти.

Обработка полученных экспериментальных данных в виде функциональной зависимости коэффициента местного гидравлического сопротивления  $\zeta_m$  от числа Рейнольдса  $Re$ , выполненная с использованием метода наименьших квадратов, позволила получить для указанных испытуемых изделий аппроксимирующую формулу вида

$$\zeta_m = a + b \cdot Re^m. \quad (1)$$

Значения коэффициентов в выражении (1) в различных диапазонах изменения числа Рейнольдса приведены в таблице. Данные рис. 3 и таблицы наглядно показывают, что в диапазоне чисел Рейнольдса  $10^3 < Re < 6 \cdot 10^4$  значения коэффициента местного гидравлического сопротивления  $\zeta_m$  для золотникового всасывающего клапана «Норма-44» КЗВ 44/38М № 093 разработки ООО «РАМ» практически в два раза меньше, чем аналогичные значения для шарового всасывающего клапана традиционной конструкции.

Для оценки экономического эффекта при замене клапанов типа КОШ на клапаны КЗВ заметим, что потребляемая мощность  $N_{потр}$ , подводимая к насосу для перекачки жидкости, определяется как

$$N_{потр} = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g / \eta_{полн}^n,$$

где  $Q$  – объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – требуемый для перекачки напор, м;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$\eta_{полн}^n$  – полный КПД насоса;

$g$  – ускорение силы тяжести.

С учетом того, что указанная мощность расходуется, в том числе и на преодоление гидравлического сопротивления, можем считать, что разница в мощности на преодоление гидравлического сопротивления обратного клапана  $\Delta N_{ок}$  составляет

$$\Delta N_{ок} = Q \cdot \Delta H_{ок} \cdot \rho \cdot g / \eta_{полн}^n, \quad (2)$$

где  $\Delta H_{ок}$  – разница в потерях напора (гидравлического сопротивления) шарового и золотникового клапанов при одной и той же производительности  $Q$  насоса.

На самом деле уменьшение коэффициента гидравлического сопротивления клапана приводит и к изменению гидравлической характеристики всей гидравлической сети – эта характеристика становится более полой. В результате рабочая точка системы «насос–сеть» смещается в область более высоких расходов и меньших напоров, а производительность  $Q$  насоса вырастет. Следовательно, установка клапана с меньшим сопротивлением может привести к увеличению расхода жидкости в системе и, как следствие, к экономии затрат электроэнергии. Вместе с тем, при оценочных расчетах экономического эффекта при замене клапанов типа КОШ на клапаны КЗВ будем считать, что расход  $Q$  (дебит нефтяной скважины) остается неизменным. Тогда после несложных преобразований выражения (2) можно получить следующую формулу для оценки экономического эффекта  $\Delta \mathcal{E}$  в рублях на каждый кубометр добытой нефти при замене клапанов типа КОШ на клапаны КЗВ

$\Delta \mathcal{E} (\text{руб}/\text{м}^3) = \Delta \zeta_m \cdot \rho \cdot u^2 / (7,2 \cdot \eta_{полн}^n) \cdot T_{эл} \cdot 10^{-6}$ , (3)  
где  $\Delta \zeta_m$  – разница в величине коэффициента местного гидравлического сопротивления  $\zeta_m$  двух моделей клапанов

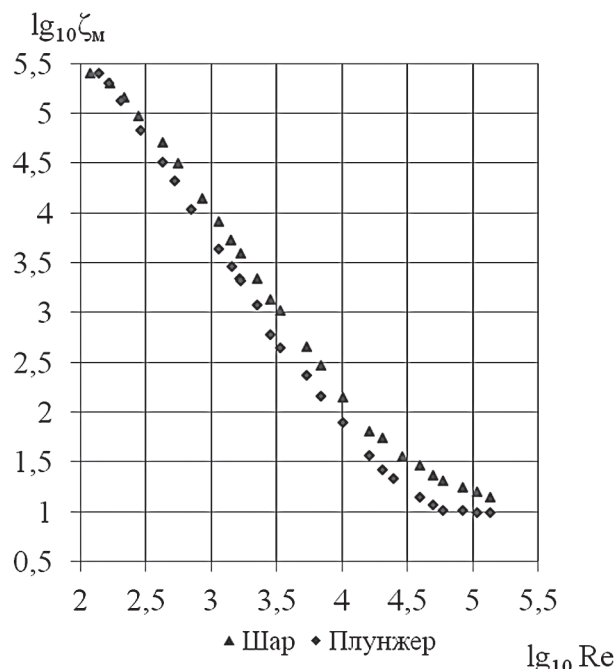


Рис. 3. Сравнение экспериментальных значений  $\zeta_m$  для золотникового всасывающего клапана «Норма-44» КЗВ 44/38М № 093 (Плунжер) и шарового всасывающего клапана типа КОШ (Шар) в логарифмических координатах

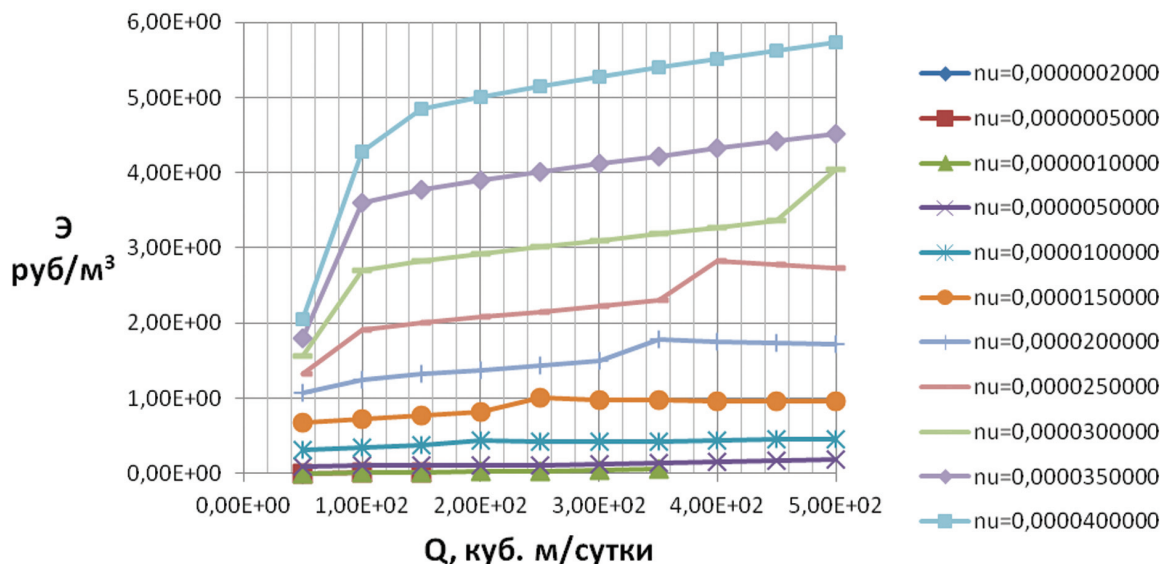


Рис. 4. Экономический эффект Э, руб./м<sup>3</sup> добытой нефти, в зависимости от дебита скважины Q и вязкости нефти ν при замене клапанов типа КОШ на клапаны КЗВ

(золотниковый всасывающий клапан «Норма-44» конструкции ООО «РАМ» и шаровой всасывающий клапан типа КОШ);

ρ – плотность нефти, кг/м<sup>3</sup>;

u – скорость потока нефти на входе в клапан, м/с;

$\eta_{полн}^H$  – полный КПД нефтяного насоса;

$T_{эл}$  – тариф на электроэнергию, руб./кВт·час.

Таким образом, согласно выражению (3), себестоимость добычи одного кубометра нефти за счет замены шарового клапана КОШ золотниковым клапаном КЗВ может быть снижена на величину ΔЭ, которую определяет, в том числе, значение тарифа на электроэнергию  $T_{эл}$ . С учетом того, что стоимость электроэнергии для ряда предприятий нефтегазового сектора с начала 2011 г. выросла на 30–50 % [2], становится очевидной целесообразность такой замены.

На рис. 4 приведены результаты расчетов по оценке экономического эффекта от замены шарового клапана КОШ золотниковым клапаном КЗВ при следующих исходных данных: плотность нефти  $\rho = 900$  кг/м<sup>3</sup>; значение КПД нефтяного насоса  $\eta_{полн}^H = 0,7$ ; внутренний диаметр на входе в клапан  $d = 42$  мм; средневзвешенное межрегиональное значение рыночного тарифа на электроэнергию для предприятий и организаций  $T_{эл} = 6,0$  руб./кВт·час (по данным [3]).

Из рис. 4 видно, что величина экономического эффекта ΔЭ растет с ростом дебита нефтяной скважины и вязкости добываемой нефти. Так, при вязкости нефти  $\nu = 1,5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с величина ΔЭ находится в диапазоне от 0,7 до 1,0 руб./м<sup>3</sup> в зависимости от дебита нефтяной скважины, а при вязкости нефти  $\nu = 4,0 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с величина ΔЭ составит уже от 2,0 до 5,8 руб./м<sup>3</sup>.

По данным Министерства энергетики России [4] в 2010 г. суммарное количество добытой нефти превысило 560 млн м<sup>3</sup> (свыше 505 млн т). Следовательно, средний годовой эффект от замены клапанов типа КОШ на клапаны КЗВ при условии, что примерно 80 % скважин оборудовано насосными установками и средневзвешенном значении вязкости нефти  $\nu = 2,0 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, может составить от 0,5 до 1,0 млрд руб.

### Библиографический список

1. Экспериментальное определение гидравлического сопротивления обратных и всасывающих клапанов различной конструкции. /Техническая справка по II этапу НИР «Клапан»: ООО НТВЦ «ЭДУ-КОН». – г. Юбилейный, 2011.
2. Российская Бизнес-газета//№ 803 от 28 июня 2011 г.
3. Официальный сайт Федеральной службы по тарифам Российской Федерации <http://www.fstrf.ru/>.
4. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации <http://minenergo.gov.ru/>.



## МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ СЕТИ ИНТЕРНЕТ

К.А. ЛЕМЕСЕВ, асп. каф. прикладной математики и математического моделирования МГУЛ

*lemesev.kirill@gmail.com*

Стремительный рост и популярность всемирной сети Интернет послужила основой появления множества источников разнообразной информации в сети. Для многих людей Интернет является самым доступным источником информации практически на любую тему. Инфраструктура Интернета изначально была разработана для использования человеком [1]. Подавляющее большинство данных в Интернете доступны в формате HTML (Hypertext Markup Language, язык разметки гипертекста). Этот формат создан для визуализации данных в интернет-браузерах, но он не предоставляет какой-либо семантической информации о данных, которые записаны с помощью этого формата. Это способ представления данных, неподходящий для автоматических систем обработки и управления данными. В частности, для того чтобы собрать данные из нескольких источников, необходимо разрабатывать специальные, и зачастую сложные, программы, для того чтобы автоматизировать процесс получения структурированных данных для дальнейшей обработки. Для подобных целей необходимы специальные программы-«обертки» (wrappers). Эти программы «оборачивают» неструктурированные данные для пользователя (которым чаще всего является программист, создающий программы для конечных пользователей), представляя наружу структурированную информацию.

Например, сейчас множество магазинов предоставляют информацию о своих товарах и ценах. Практически невозможно «вручную» собрать все данные для полного и своевременного анализа всех интересующих предложений. Автоматический мониторинг и анализ предложений на рынке – хорошее практическое приложение для подобных программ («обертки»).

Так как создание таких «программ-обертки от начала до конца» является достаточно трудоемкой задачей, были созданы

различные методы для генерации программ-обертки. Как в приведенном примере о товарах и ценах, зачастую требуется получать данные сразу из нескольких источников. В этом случае ценность возможности генерации обертки возрастает. Схема использования обертки в этом сценарии выглядит так

В прикладном использовании в роли потребителя редко выступает непосредственно человек. Зачастую это какой-либо программный комплекс, который выполняет обработку данных, полученных от обертки.

Настоящая работа рассматривает процесс создания программ-обертки. Дается описание программ-обертки и их роли в сфере управления информацией. Представлена краткая классификация подходов к созданию обертки и их генерации. Для обозначенного круга задач предлагается новый метод их создания. Показываются преимущества предложенного метода перед существующими.

### Обертки

Программы-обертки в контексте извлечения информации из Интернета – программы, которые автоматически извлекают данные из веб-сайтов и конвертируют эти данные в структурированные форматы. Можно выделить три главные функции таких программ. Первая – загрузка HTML-страниц веб-сайтов (краулинг). Вторая – поиск, распознавание и извлечение целевой информации. Третья – сохранение полученных данных в подходящий формат для дальнейших

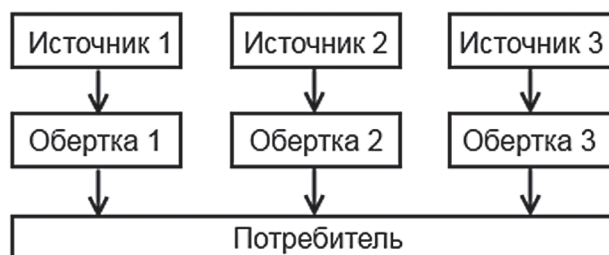


Рисунок. Общая схема использования обертки

манипуляций [2]. Впоследствии полученные с помощью обертки данные могут быть использованы другими программами.

Согласно исследованиям [3], около 80 % источников информации, опубликованной в Интернете, служат реляционные СУБД (страницы, на которых располагаются данные, формируются на основе информации, хранящейся в базе данных). В процессе форматирования в HTML-документы структура БД полностью теряется. Обертки пытаются проделать обратный процесс – восстановить структуру исходных данных. Более того, цель некоторых программ – использование Интернета как большой базы данных.

Как правило, для каждого источника данных необходима отдельная обертка. Это вызвано уникальной структурой и разметкой каждого источника. К тому же Интернет динамичен и непрерывно развивается. По этой причине зачастую требуется регулярно обновлять (или даже полностью переделывать) обертки [4].

Любая обертка может быть полностью создана на заданном языке программирования, например, с помощью регулярных выражений. Для небольших приложений такой подход может оказаться приемлемым. Однако, если предполагается использование большого числа обертки, удобно использовать специальные инструментариумы для создания обертки (wrapper-generating toolkits). Подобные инструментариумы способны создавать обертки, базирясь лишь на нескольких параметрах для определенного источника данных.

Инструменты для создания обертки можно классифицировать по различным признакам, например, по типу интерфейса, по возможностям краулинга, присутствия и особенностей графического интерфейса пользователя и нескольким другим. В рамках данной работы рассматривается классификация инструментариумов по способу создания и функционирования обертки.

### Краткий обзор существующих решений

Как было замечено выше, зачастую страницы веб-сайтов формируются автоматически: информация, хранящаяся в базе данных, форматируется по определенному

шаблону в HTML-документ, который и получает браузер. Для сайта, созданного таким образом, получается набор страниц с конечным числом способов форматирования данных. На этой идее базируются способы получения обертки методами машинного обучения.

Получение обертки с помощью методов машинного обучения происходит по следующей схеме. Определяется модель данных (формальное описание сущностей и их взаимосвязей), помечаются контрольные примеры валидных данных. На основании этих данных инструментариум создает набор правил – алгоритм обертки для извлечения данных согласно модели. Может потребоваться несколько итераций, для того чтобы получить рабочую обертку.

Алгоритмы, положенные в основу подобных инструментариумов, используют множество предположений, допущений и наблюдений из сферы того, как *обычно* данные расположены в структуре сайта и в пределах страницы сайта. Это могут быть как исключительно визуальные признаки данных (в первом приближении: данные на всех страницах расположены одинаково, следовательно, как и в контрольном примере, третий блок от меню содержит целевые данные), так и сложные взаимосвязи между элементами дерева HTML-объектов (в первом приближении: данные на всех страницах расположены одинаково, следовательно, как и в контрольном примере, если элемент имеет вложенность 3 и находится на нечетной позиции, то он содержит целевые данные).

Учитывая все допущения относительно природы происхождения страниц и расположения данных на них, полученные обертки не могут охватить всего многообразия форматирования. Для сложных сценариев используются инструментариумы, позволяющие задать соответствие между моделью данных и элементами HTML-документа вручную. Такие инструментариумы, в силу своей идеи, способны обработать любые источники. Рассмотрим подробнее устройство инструментариумов, предлагающих ручное создание обертки.

### Проблемы и предлагаемое решение

Для того чтобы получить обертку с помощью инструментариума, необходимо создать

программу, которая определяет соответствие между элементами модели данных и объектами исходных документов. В зависимости от сложности задачи, сложность программы может варьироваться от простого указания элементов DOM-дерева до имплементации сложной логики и переработки HTML-страниц. Становятся крайне важными выразительность и удобство языка описания соответствия HTML-документа и модели данных.

Как показывают исследования [2], в большинстве существующих инструментариев используются оригинальные, специально созданные языки. Не все языки умеют оперировать с HTML и его объектами (HTML-awareness). Учитывая, что большая часть работы ведется именно с HTML-документами, это обстоятельство уменьшает ценность таких языков.

Большинство языков – декларативные. На первый взгляд, эта особенность не накладывает ограничений на возможности языка. Однако при рассмотрении применения декларативных языков к решаемой задаче становятся очевидными две проблемы. Во-первых, разработчики оберток лучше знакомы с императивными языками программирования (в силу их большей распространенности). Но даже при условии знакомства разработчика с какими-либо декларативными языками, учитывая оригинальность языка, получаем неизбежную необходимость знакомства с новым языком. Во-вторых, элементарные задачи, которые возникают при разработке оберток, лучше решаются с помощью императивных языков. Это косвенно признают разработчики инструментариев, основанных на декларативных языках, встраивая частичную поддержку императивных языков [6].

Потребитель результата функционирования обертки – программный комплекс. Это значит, что обертку (и среду для ее выполнения, если таковая имеется) необходимо интегрировать в систему, в которой располагается потребитель. Следствием предыдущего пункта являются дополнительные проблемы на этом этапе.

С учетом выявленных недостатков предлагается способ создания оберток, основанный на объектном языке с усиленной поддержкой

HTML. При таком способе создания оберток все перечисленные недостатки исчезают.

### **Использование объектного языка в качестве основы обертки**

В настоящее время индустрия разработки программного обеспечения значительно эволюционировала. В частности, на сегодняшний день нет значительных трудностей встроить поддержку широко известных языков в собственные приложения. Для того чтобы избавиться от недостатков, связанных с оригинальными языками, необходимо обеспечить поддержку какого-либо (или нескольких) широко распространенного языка.

Выбрав объектный язык, создатель оберток не должен изучать, возможно, новую для него парадигму разработки. Ограниченная поддержка императивных языков больше не нужна.

### **Усиленная поддержка HTML**

Для того чтобы обеспечить еще лучшее соответствие требований разработке оберток, необходимо обеспечить поддержку манипуляций с HTML. В качестве спецификации функций, которые необходимо обеспечить, возьмем набор методов, которые предоставляет стандарт Document Object Model для структуры HTML. Методы из этого набора, например, используются в современных веб-приложениях для построения графического интерфейса пользователя, этим гарантируя достаточную гибкость и полноту для рассматриваемой задачи. К тому же, с использованием знакомого подхода сложность использования для среднего программиста уменьшается.

### **Интеграция в инфраструктуру приложений**

Выбор объектного языка для оберток позволяет использовать всю мощь инфраструктурных решений, которые доступны на сегодняшний день. Помимо стандартных путей интеграции через хранилища данных (файлы, базы данных и прочее), такой подход обеспечивает максимальную гибкость. Например, может быть реализован общеизвестный шаблон проектирования «Наблюдатель»

[7], техническая реализация которого может быть произвольна (веб-сервисы, очереди сообщений и прочее).

В итоге, используя подобный подход, получаем инструментарий для создания оберток, использующий распространенный объектный язык с поддержкой HTML, обертки которого легко встраиваются в инфраструктуру приложений.

### Библиографический список

1. Kushmerick, N. Wrapper Induction for Information Extraction // University of Washington, Tech., Department of Computer Science & Engineering – Washington, USA, 1997.
2. Kuhlins, S., Tredwell, R. Toolkits for Generating Wrappers // University of Mannheim, Department

of Information Systems III D-68131 – Mannheim, Germany, 2009.

3. Sahuguet, A., Azavant, F. Web Ecology – Recycling HTML pages as XML documents using W4F, // ACM International Workshop on the Web and Databases (WebDB'99) – Philadelphia, Pennsylvania, USA, 1999.
4. Liu, B. Web.Data.Mining // Department of Computer Science, University of Illinois at Chicago – Chicago, USA, 2007.
5. Chang, C., Mohammed Kayed, M., Ramzy Girgis, M., Shaalan, K. A Survey of Web Information Extraction Systems // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering (TKDE), TKDE-0475-1104.R3 – Washington, USA, 1997.
6. Gamma, E., Helem R., Johnson R., Vlissides J. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software // Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. – Boston, USA, 2007 – ISBN 0-201-63361-2.

## ФРОБЕНИУСОВЫ ЭНДОМОРФИЗМЫ МНОЖЕСТВА ПРОЕКТОРОВ

А.М. ВЕТОШКИН, доц. каф. ПМ и ММ МГУЛ, канд. техн. наук

vetkin@mgul.ac.ru

Обозначим  $M_{m,n}$  – множество прямоугольных матриц размера  $m \times n$ , с элементами из поля  $R$  или  $C$ ;  $M_n$  – множество квадратных матриц порядка  $n$ .

Пусть  $P$  – квадратная матрица с комплексными элементами. Она называется проектором, если  $P = P^2$ . Если  $P$  – эрмитова матрица, то  $P$  называют ортопроектором [2].

Фробениусовым эндоморфизмом для некоторого свойства  $P$  [1] называется отображение  $T: M_n \rightarrow M_n$  такое, что из того, что матрица  $A$  обладает свойством  $P$  следует, что и матрица  $T(A)$  обладает свойством  $P$ .

Рассматривается свойство  $P$  – свойство матрицы быть проектором. В данной работе построено семейство отображений матриц, близких по свойствам к отображению сопряжения комплексных матриц  $T: A \rightarrow A^*$ . (Сопряжение, как известно, сохраняет свойство матрицы быть проектором).

Пусть подпространства  $L$  и  $M$  пересекаются по нулевому вектору, и  $L + M = C^n$ . (Говорят, что  $L$  и  $M$  дополнительные подпространства). Обозначим матрицу, проектирующую на подпространство  $L$  вдоль подпространства  $M$ , как  $P(L, M)$ .

Для подпространства, натянутого на столбцы матрицы  $A$  ( $Im(A)$  – образа  $A$ ), будем использовать такое обозначение:  $\{A\}$ . Если  $L = \{A\}$  и  $M = \{B\}$ , вместо  $P(L, M)$ , или  $P(\{A\}, \{B\})$  пишем просто  $P(A, B)$ .

Пусть  $A$  и  $B$  – дополнительные подпространства, тогда

$$P^*(A, B) = P(A^\perp, B^\perp). \quad (1)$$

В связи с проектором  $P(A, B)$  часто возникают подпространства

$$A \cap B^\perp \text{ и } A^\perp \cap B.$$

Назовем их соответственно первым и вторым подпространством, связанным с проектором  $P(A, B)$ .

У ортопроектора первое подпространство совпадает с его образом, а второе подпространство с его ядром. У произвольного проектора  $P$  и у сопряженного ему  $P^*$  как первые, так и вторые подпространства совпадают, что следует из (1). В данной работе построено семейство отображений, элементы которого, подобно сопряжению  $*$ , являются инволюциями множества проекторов и сохраняют первое и второе подпространства.

В разделе 4, среди всех таких инволюций выделена одна, которая обозначена #

и обладает особыми свойствами, в частности  $(\#*)^4 = I$ , где  $I$  тождественное отображение матриц из  $M_n$ . (В данном случае  $*$  и  $\#$  отображения проекторов).

### Каноническая форма проектора относительно унитарного подобия

В работе [4] Дьековичем предложена теорема о канонической форме проектора относительно унитарного подобия. Приведем формулировку этой теоремы из [3].

#### Теорема 1

Пусть  $P \in M_n$  – проектор. Тогда существует унитарное подобие, приводящее  $P$  к блочно-диагональной форме

$$Q_1 = \text{diag} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 1 & x_k \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, I_m, 0_s \right\}. \quad (2)$$

Здесь  $x_1 \geq \dots \geq x_k > 0$ ,  $I_m$ ,  $0_s$  – единичная и нулевая матрицы соответствующего порядка и числа  $x_1 \dots x_k, k, m, s$  однозначно определяются проектором  $P$ .

В данной работе чаще будем использовать не  $Q_1$  из (2), а унитарно-подобную ей матрицу

$$Q = \begin{bmatrix} I_k & D & 0 & 0 \\ 0 & 0_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0_s \end{bmatrix},$$

$$D = \text{diag} \{x_1 \dots x_k\}, |x_1| \geq \dots \geq |x_k| > 0. \quad (3)$$

Далее считаем, в отличие от теоремы 1, что диагональные элементы  $D$ , могут быть и отрицательными. (Изменение знака диагонального элемента  $D$  компенсируется очевидным изменением матрицы  $W$ , задающей унитарное подобие). Считаем, что одинаковые элементы диагонали  $D$  расположены рядом друг с другом; если есть элементы с одной абсолютной величиной, но разными знаками, то они располагаются также друг за другом.

В теореме 1 ничего не говорится о единственности унитарного подобия, приводящего к каноническому виду. Пусть существуют унитарные матрицы  $W_1$  и  $W_2$  такие, что

$$P = W_1 Q W_1^* = W_2 Q W_2^*,$$

откуда следует, что  $W_2^* W_1 Q = Q W_2^* W_1$ . Обозначим  $F = W_2^* W_1$ .

Какой должна быть унитарная матрица  $F$ , чтобы для матрицы  $Q$  из (3) выполнялось?

$$FQ = QF. \quad (4)$$

Разобьем матрицу  $F$  на блоки в соответствии с блочной структурой матрицы  $Q$

$$F = \{F_{ij}\}_{i,j=1,2,3,4}.$$

Из равенства (4) следует

$$\begin{bmatrix} F_{11} & F_{11}D & F_{13} & 0 \\ F_{21} & F_{21}D & F_{23} & 0 \\ F_{31} & F_{31}D & F_{33} & 0 \\ F_{41} & F_{41}D & F_{43} & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{11} + DF_{21} & F_{12} + DF_{22} & F_{13} + DF_{23} & F_{14} + DF_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} & F_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Откуда получаем

$$F_{21} = 0, F_{23} = 0, F_{34} = 0, F_{41} = 0, F_{43} = 0, \\ F_{12} = F_{11}D - DF_{22}, F_{14} = -DF_{24}, F_{32} = F_{31}D.$$

Поэтому унитарная матрица  $F$  имеет такой вид

$$F = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{11}D - DF_{22} & F_{13} & -DF_{24} \\ 0 & F_{22} & 0 & F_{24} \\ F_{31} & F_{31}D & F_{33} & 0 \\ 0 & F_{42} & 0 & F_{44} \end{bmatrix}.$$

Будем последовательно рассматривать блоки матрицы  $R = F^*F = I$ .

Выпишем блоки  $R_{11}$  и  $R_{12}$

$$R_{11} = F_{11}^* F_{11} + F_{31}^* F_{31} = I, \\ R_{12} = F_{11}^* (F_{11}D - DF_{22}) + F_{31}^* F_{31}D = 0. \quad (5)$$

Отсюда следует, учитывая то, что матрица  $D$  не особенная

$$F_{11}^* DF_{22} = D, \det F_{11} \neq 0, \det F_{22} \neq 0. \quad (6)$$

Так как  $R_{41} = -F_{24}^* DF_{11} = 0$ , учитывая (6) и то, что  $D$  не особенная, получим

$$F_{24} = 0. \quad (7)$$

Блок

$$R_{44} = F_{24}^* D^2 F_{24} + F_{24}^* F_{24} + F_{44}^* F_{44} = F_{44}^* F_{44} = I, \\ \text{поэтому}$$

$$F_{44} - \text{унитарная матрица.} \quad (8)$$

Блок  $R_{42}$ , учитывая (7), будет таким:  $R_{42} = F_{44}^* F_{42} = 0$ , поэтому

$$F_{42} = 0. \quad (9)$$

Так как  $R_{31} = F_{13}^* F_{11} + F_{33}^* F_{31} = 0$ , учитывая (6), получим

$$F_{13}^* = -F_{33}^* F_{31} F_{11}^{-1}. \quad (10)$$

Подставив выражение для  $F_{13}$  из (10) в  $R_{33} = F_{13}^* F_{13} + F_{33}^* F_{33} = I$ , получим

$$F_{33}^* (F_{31} F_{11}^{-1} F_{11}^* F_{31}^* + I) F_{33} = I$$

и следовательно

$$\det F_{33} \neq 0. \quad (11)$$

Еще раз подставив (10) в  $R_{32}$ , получим  $R_{32} = F_{33}^* F_{31} F_{11}^{-1} D F_{22} = 0$ . Учитывая (6) и (11), а затем и (10), получим

$$F_{31} = 0, F_{13} = 0. \quad (12)$$

Учитывая, что  $F_{31} = 0$  в (5), получим  $F_{11}, F_{22}$  – унитарные матрицы,

$$F_{12} = F_{11} D - D F_{22} = 0. \quad (13)$$

Из (7–9, 12, 13) следует, что унитарная матрица  $F$  удовлетворяет условию  $FQ = QF$ , где матрицу  $Q$  определяет (3), тогда и только тогда, когда  $F$  имеет вид

$$F = \text{diag}\{F_1, F_2, F_4, F_4\} \text{ и } F_1 D = D F_2. \quad (14)$$

При выводе (14) мы использовали только то свойство матрицы  $D$ , что она невырожденная.

Из (14) имеем

$$F_2 = D^{-1} F_1 D \text{ и } F_2^* = D F_1^* D^{-1}; F_2 F_2^* = D^{-1} F_1 D^2 F_1^* D^{-1} = I.$$

Следовательно,

$$F_1 D^2 = D^2 F_1, F_2 D^2 = D^2 F_2. \quad (15)$$

Матрицу  $D^2$  можно рассматривать, как блочно-диагональную, каждый диагональный блок которой является скалярной матрицей. Как и при выводе (14), возьмем такое же блочное разбиение матрицы  $F_1$  и  $F_2$ , как и у матрицы  $D^2$ . Подстановка блочных разбиений матриц  $F_1, F_2$  и  $D^2$  в (15) дает, что матрицы  $F_1$  и  $F_2$  блочно-диагональные.

Каждый скалярный блок матрицы  $D^2 - \text{diag}\{x^2 I_{p+q}\}$  соответствует двум соседним скалярным блокам матрицы  $D - \text{diag}\{x I_p, -x I_q\}$ . Возьмем диагональный блок  $f_x^{(1)}(f_x^{(2)})$  матрицы  $F_1(F_2)$ , соответствующий диагональному блоку  $\text{diag}\{x^2 I_{p+q}\}$  матрицы  $D^2$ . Рассмотрим блочное разбиение унитарных матриц  $f_x^{(1)}$  и  $f_x^{(2)}$

$$f_x^{(i)} = \begin{bmatrix} f_{11}^{(i)} & f_{12}^{(i)} \\ f_{21}^{(i)} & f_{22}^{(i)} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2; \quad (16)$$

с диагональными блоками  $f_{11}^{(i)}, f_{22}^{(i)}$  порядков  $p$  и  $q$ , соответственно.

Равенство  $F_1 D = D F_2$  будет выполняться тогда и только тогда, когда для всех значений  $x$  в матрице  $D$  выполняется

$$f_x^{(1)} \text{diag}\{x I_p, -x I_q\} = \text{diag}\{x I_p, -x I_q\} f_x^{(2)}. \quad (17)$$

Подставив (16) в (17) получим

$$f_x^{(2)} = S f_x^{(1)} S, \quad S = \text{diag}\{I_p, -I_q\}. \quad (18)$$

Из (7–9, 12, 13, 18) следует

### Теорема 2

Унитарная матрица  $F$  коммутирует с матрицей  $Q$ , имеющей вид (3), тогда и только тогда, когда  $F$  удовлетворяет следующим условиям

$$F = \text{diag}\{F_1, F_2, F_4, F_4\} \text{ и } F_1 D = D F_2$$

Унитарные матрицы  $F_1, F_2, F_3, F_4$  имеют порядки  $k, k, m, s$  соответственно. Однородные элементы диагонали  $D$  расположены рядом друг с другом; элементы с одной абсолютной величиной, но разными знаками, располагаются в соседних диагональных блоках.

Матрицы  $F_1$  и  $F_2$  – блочно-диагональные с равными размерами соответствующих блоков, причем каждый их диагональный блок имеет тот же порядок, что и соответствующий блок диагональных элементов матрицы  $D$ , имеющих одинаковый модуль.

При этом

$$F_2 = S F_1 S, \quad (19)$$

где  $S$  диагональная матрица с элементами 1 или  $-1$ , причем  $-1$  соответствует тем позициям диагонали матрицы  $D$ , где стоят отрицательные числа.

Таким образом, матрица трансформации, определяющая каноническую форму проектора относительно унитарного подобия в виде (3), определена с точностью до произвольного унитарного множителя  $F$ , задаваемого теоремой 2. Заметим, что если диагональ матрицы  $D$  состоит из чисел одного знака, то  $F_2 = F_1$ .

Рассмотрим представление проектора  $P = W Q W^*$ , где  $Q$  имеет вид (3). Разобьем матрицу  $W$  на следующие блоки

$$W = [W_1 : W_2 : W_3 : W_4], \quad W_1, W_2 \in M_{n,k}, \quad W_3 \in M_{n,m}, \\ W_4 \in M_{n,s}, \quad W_i^* W_i = I, \quad W_i^* W_j = 0, \quad i \neq j.$$

Скелетное разложение проектора  $P$  можно получить так

$$P = W \cdot Q W^* = [W_1 : W_2 : W_3 : W_4] \begin{bmatrix} W_1^* + D W_2^* \\ 0 \\ W_3^* \\ 0 \end{bmatrix} =$$

$$= [W_1 : W_3] \begin{bmatrix} W_1^* + DW_2^* \\ W_3^* \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Откуда следует

$$\text{Im}P = \{[W_1 : W_3]\}, \text{ker}P = \{[W_1 - W_2 D^{-1} : W_4]\}, \quad (21)$$

$$(\text{Im}P)^\perp = \{[W_2 : W_4]\}, (\text{ker}P)^\perp = \{[W_1 + W_2 D : W_3]\}.$$

Поэтому первое подпространство проектора  $P$  равно

$$\text{Im}P \cap (\text{ker}P)^\perp = \{W_3\},$$

второе подпространство проектора  $P$  равно

$$\text{ker}P \cap (\text{Im}P)^\perp = \{W_4\}. \quad (22)$$

### Семейство отображений сохраняющих свойство матрицы быть проектором

Рассмотрим каноническую форму проектора  $P$  определяемую (3)

$$P = W \begin{bmatrix} I_k & D & 0 & 0 \\ 0 & 0_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0_s \end{bmatrix} W^*, \quad (23)$$

$$D = \text{diag}\{x_1, \dots, x_k\},$$

где  $x_i \neq 0$ ,  $W$  – унитарная матрица. Выбор вектора-столбца  $x = (x_1, \dots, x_k)^T$  определяет диагональную матрицу  $D = \text{diag}\{x\}$  и проектор  $P$ . Рассмотрим результат отображения вектора  $x$ .

$$G(x) = \begin{bmatrix} g_1 \\ \vdots \\ g_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_1(x_1, \dots, x_k) \\ \vdots \\ g_k(x_1, \dots, x_k) \end{bmatrix}.$$

Если  $g_i \neq 0$ , то следующая матрица  $P^G$ , результат отображения  $P$ , также будет проектором

$$P^G = W \begin{bmatrix} I_k & D^G(x) & 0 & 0 \\ 0 & 0_k & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_m & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0_s \end{bmatrix} W^*, \quad (24)$$

$$D^G(x) = \text{diag}\{g_1, \dots, g_k\}.$$

При этом – (24) каноническая форма проектора  $P^G$  относительно унитарного подобия задаваемого матрицей  $W$ . Для ортопроекторов следует положить, что

$$P^G = P.$$

Скелетное разложение проектора  $P^G$ , аналогично (20), будет

$$P^G = [W_1 : W_3] \begin{bmatrix} W_1^* + D^G W_2^* \\ W_3^* \end{bmatrix}.$$

Поэтому при отображении  $P \rightarrow P^G$  образ, первое подпространство, второе подпространство проектора  $P$  сохраняются.

Пусть  $y$  – значение одной из координат вектора  $x$ . Аналогично (16–18), этому значению соответствует скалярный блок матрицы  $D = \text{diag}\{yI_p\}$  порядка  $p$ . Определим последовательные координаты вектора  $G$  (в количестве  $p$  штук), соответствующие координатам вектора  $z$  со значением  $y$  как вектор  $g_{p,y}$ . Аналогично вектор  $g_{p,y}$  определим как последовательные координаты вектора  $G$  (в количестве  $q$  штук), соответствующие координатам вектора  $x$  со значением  $-y$ .

Определение отображения проектора (24) будет корректным, если все представления проектора  $P$  в (23) с различными матрицами  $W$  будут отображаться в один и тот же проектор  $P^G$ . Из теоремы 2 следует, что это будет при выполнении аналога равенства (17) для проектора  $P^G$

$$f_y^{(1)} \text{diag} \begin{bmatrix} g_{p,y} \\ g_{q,-y} \end{bmatrix} = \text{diag} \begin{bmatrix} g_{p,y} \\ g_{q,-y} \end{bmatrix} f_y^{(2)}.$$

Здесь обозначение  $\text{diag}$  используется для задания диагональной матрицы, диагональ которой определяется компонентами вектора аргумента

$$\text{diag}(v) = \text{diag}(v_1, \dots, v_n).$$

Учитывая (18) получим

$$f_y^{(1)} \text{diag} \begin{bmatrix} g_{p,y} \\ g_{q,-y} \end{bmatrix} S = \text{diag} \begin{bmatrix} g_{p,y} \\ g_{q,-y} \end{bmatrix} S f_y^{(1)}.$$

Или

$$f_y^{(1)} \text{diag} \begin{bmatrix} g_{p,y} \\ -g_{q,-y} \end{bmatrix} = \text{diag} \begin{bmatrix} g_{p,y} \\ -g_{q,-y} \end{bmatrix} f_y^{(1)}. \quad (25)$$

Равенство (25) должно выполняться для произвольной унитарной матрицы  $f_y^{(1)}$ , откуда следует, что все координаты векторов  $g_{p,y}$  и  $-g_{q,-y}$  равны друг другу.

Таким образом, для того чтобы отображение  $G$  в (24) корректно определяло отображение проекторов необходимо, чтобы выполнялись следующие условия

$$x_i = x_j \Rightarrow g_i = g_j, \quad (26)$$

$$x_i + x_j = 0 \Rightarrow g_i + g_j = 0. \quad (27)$$

Есть три простых способа задать  $G$  так, чтобы выполнялись условия (26), (27).

**Первый способ.**  $G(x) = S(x)x$ . Каждая компонента вектора  $x$  умножается на одно и то же ненулевое число  $-S(x)$ . Для такого способа определения  $G(x)$ , очевидно, выполняются свойства (26) и (27).

Интерес представляет случай, когда по аналогии с  $(P^*)^* = P$  выполняется

$$(P^G)^G = P, \quad (28)$$

что эквивалентно  $G(G(x)) = x$ . Последнему функциональному уравнению удовлетворяет известное преобразование инверсии

$$G(x) = kx / \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad (29)$$

для которого выполняются также (26) и (27). Здесь  $k$  – коэффициент инверсии. (Если  $k < 0$ , то  $G(x)$  – антиинверсия). Если  $A$  – некоторая положительно определенная матрица, то можно записать более общее выражение чем (29)

$$G(x) = kx / (x^T A x).$$

**Второй способ.** Отображение  $G(x)$  является линейным –  $G(x) = G(x)$ . Причем  $G = \text{diag}\{\dots, \gamma_j, \dots\}$ , каждый квадратный диагональный блок  $\gamma_j$  порядка  $r_j$  соответствует группе координат вектора  $x$  с одинаковой абсолютной величиной.

Чтобы выполнялись условия (26) и (27), все столбцы следующей матрицы  $\Gamma_i$  порядка  $r_j$  должны быть собственными векторами матрицы  $\gamma_j$

$$\Gamma_i = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ -1 & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -1 & -1 & \dots & 1 \end{bmatrix}.$$

В матрице  $\Gamma_i$  элементы ниже главной диагонали  $-1$ , остальные элементы  $1$ .

Матрицу  $\gamma_j$  с такими собственными векторами можно задать таким выражением

$$\gamma_j = \Gamma_i \text{diag}\{u_1, \dots, u_r\} \Gamma_i^{-1},$$

где  $u_j$  произвольные ненулевые числа.

Чтобы дополнительно выполнялось (28), числа  $u_j$ , определяющие матрицу  $\gamma_j$ , должны равняться или  $1$ , или  $-1$ . (Отметим, что все матрицы  $\gamma_j = \Gamma_i \text{diag}\{\pm 1, \dots, \pm 1\} \Gamma_i^{-1}$  имеют целочисленные элементы).

**Третий способ.** Обозначим через  $R_0$  – множество действительных чисел без нуля.

Пусть  $g$  функция, определенная на множестве  $R_0$  и принимающая значения из множества  $R_0$ . Тогда отображение

$$G(x) = (g(x_1), \dots, g(x_k))^T, \quad (30)$$

очевидно, удовлетворяет (26). Чтобы выполнялось (27), необходимо, чтобы функция  $g$  была нечетной

Таким образом, каждая нечетная функция  $g: R_0 \rightarrow R_0$  определяет фробениусов эндоморфизм множества проекторов. Композиция двух таких эндоморфизмов, определяемых нечетными функциями  $g_1$  и  $g_2$ , очевидно, является фробениусовым эндоморфизмом, определяемым суперпозицией этих функций  $-g_1(g_2(x))$ .

Отображение, задаваемое (30) будет удовлетворять (28), если функция  $g$  является обратной сама себе. Самыми простыми инволютивными нечетными функциями  $g: R_0 \rightarrow R_0$  являются следующие функции:  $x, -x, 1/x, -1/x$ . (Заметим, что последние две функции задают инверсию и антиинверсию в одномерном пространстве).

Фробениусов эндоморфизм, задаваемый последней функцией, обладает особыми свойствами, поэтому введем для него такое обозначение

$$P^\# = P^g, \quad g(x) = -1/x.$$

### Свойства инволюции, задаваемой функцией $g(x) = -1/x$

Перечислим некоторые свойства операции  $\#$ .

– Проекторы  $P$  и  $P^\#$  имеют общие образ, первое подпространство, второе подпространство.

– Для любого проектора  $P$  выполняется  $(P^\#)^\# = P$ .

– Если  $P$  ортопроектор, то  $P^\# = P$ .

Вернемся к последнему выражению для  $P$  в (20). Представим  $P$  как сумму двух проекторов

$$P = W_3 W_3^* + W_1 (W_1^* + D W_2^*) = s + t. \quad (31)$$

Первый проектор  $s = W_3 W_3^*$  является ортопроектором, второй  $-t = W_1 (W_1^* + D W_2^*)$ , так сказать, строго косо проектор. Оба проектора имеют каноническую форму, получаемую с помощью подобия, определяемого унитарной матрицей  $W$ . При этом

$$P^\# = W_3 W_3^* + W_1 (W_1^* + D^G W_2^*) = s + t^\#. \quad (32)$$



Как легко убедиться из (31) и (32) следует

$$s = P(\{W_3\}) = W_3 W_3^* = P^\# P^*. \quad (33)$$

Следующая теорема показывает что, операция # особым образом взаимодействует с операцией сопряжения.

### Теорема 3

Пусть  $P$  произвольный проектор, тогда в последовательности

$$P_1 = P, P_2 = P_1^\#, P_3 = P_2^*, P_4 = P_3^\#, P_5 = P_4^*, \quad (34)$$

члены, начиная с девятого, повторяются, то есть  $P_9 = P_1$ ;

Пусть у проектора  $P$  каноническая форма (23). Операции # ничего не меняет в этой форме кроме матрицы  $D$ . Операция же \* отражает матрицу  $D$  относительно главной диагонали. Чтобы в дальнейшем применять операцию #, надо «вернуть» матрицу  $D$  на место. Это можно сделать, подправив унитарную матрицу  $W$ , задающую подобие.

Рассмотрим следующее подобие

$$\begin{bmatrix} c & -s \\ s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ x & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -x \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$s^2 + c^2 = 1, s + cx = 0. \quad (35)$$

Величины  $s$  и  $c$  можно определить через  $x$  так

$$s = \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}, \quad c = \frac{-1}{\sqrt{1+x^2}}. \quad (36)$$

Аналогично можно «транспонировать» матрицу

$$\begin{bmatrix} I & 0 \\ D & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} c & -s \\ s & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I & 0 \\ D & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & -D \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$s^2 + c^2 = I, s + cD = 0,$$

где  $s, c$  и  $D$  диагональные матрицы, причем

$$D = \text{diag}\{x_1, \dots, x_k\},$$

$$s_i = \frac{x_i}{\sqrt{1+x_i^2}}, \quad c_i = \frac{-1}{\sqrt{1+x_i^2}}.$$

Каждая матрица  $P_i$  в последовательности (34) имеет такое же представление, как (23), и определяется матрицей, задающей унитарное подобие  $W_i$ , и диагональной матрицей  $d_i$ , стоящей на месте  $D$  в (23). Будем

последовательно рассматривать матрицы  $P_i$  и определяющие их величины  $W_i$  и  $d_i$ .

$$P_1 = P, W_1 = W, d_1 = \text{diag}\{\dots, x_i, \dots\} \quad (37)$$

$$P_2 = P_1^\#, W_2 = W, d_2 = \text{diag}\{\dots, -1/x_i, \dots\}. \quad (38)$$

После выполнения следующей операции мы скомпенсируем транспонирование с помощью унитарного множителя

$$H_1 = \text{diag}\{h_1, I_{m+s}\},$$

где

$$h_1 = \begin{bmatrix} c & s \\ -s & c \end{bmatrix}, \quad s_i + c_i(-1/x_i) = 0.$$

Поэтому

$$P_3 = P_2^*, W_3 = WH_1, d_3 = \text{diag}\{\dots, 1/x_i, \dots\}. \quad (39)$$

Далее

$$P_4 = P_3^\#, W_4 = WH_1, d_4 = \text{diag}\{\dots, -x_i, \dots\}. \quad (40)$$

Аналогично тому, как мы получали (39)

$$H_2 = \text{diag}\{h_2, I_{m+s}\}, \quad h_2 = \begin{bmatrix} c' & s' \\ -s' & c' \end{bmatrix},$$

$$s_i' + c_i'(-x_i) = 0,$$

$$\text{И } P_5 = P_4^*, W_5 = WH_1 H_2, d_5 = \text{diag}\{\dots, x_i, \dots\}. \quad (41)$$

Матрица  $d_5$  в (41) равна матрице  $d_1$  из (37), поэтому, повторив последовательность действий задаваемых (37–41) получим

$$P_9 = P_8^*, W_9 = WH_1 H_2 H_1 H_2, d_9 = \text{diag}\{\dots, x_i, \dots\}. \quad (42)$$

Так как

$$h_1 h_2 = \begin{bmatrix} 0 & I_k \\ -I_k & 0 \end{bmatrix}, \text{ то } H_1 H_2 H_1 H_2 = \begin{bmatrix} -I_{2k} & 0 \\ 0 & I_{m+s} \end{bmatrix}.$$

Поэтому

$$P_9 = WH_1 H_2 H_1 H_2 \text{diag}\left\{\begin{bmatrix} I_k & d_1 \\ 0_k & 0_k \end{bmatrix}, I_m, 0_s\right\} \times \\ \times H_2 H_1 H_2 H_1 W^* = P_1.$$

Доказательство теоремы 3 завершено.

### Замечание 1

Можно доказать, что из инволютивных функций только функция  $g(x) = -1/x$  порождает отображение, которое взаимодействует с операцией \* по схеме теоремы 3.

### Замечание 2

В (21) для произвольного проектора  $P$  мы получили

$$\ker P = \{[W_1 - W_2 D^{-1} : W_4]\}, \\ (\ker P)^\perp = \{[W_1 + W_2 D : W_3]\}.$$

Для  $P^\#$ , аналогичным образом получим

$$\ker P^\# = \{[W_1 + W_2 D : W_4]\}, \\ (\ker P^\#)^\perp = \{[W_1 - W_2 D^{-1} : W_3]\}.$$

Таким образом, у проекторов  $P$  и  $P^\#$  ортогональные подпространства  $\{W_1 - W_2 D^{-1}\}$  и  $\{W_1 + W_2 D\}$  меняются ролями.

Операцию  $\#$  можно выразить с помощью операции взятия псевдообратной матрицы. Ниже  $M^+$  обозначает псевдообратную матрицу к матрице  $M$  [2].

#### Теорема 4

Для произвольного проектора  $P$

$$P^\# = P - P(P - P^+P)^+P + (PP^+ - P^+)^+. \quad (43)$$

Нам понадобится следующий известный факт. Для произвольной матрицы  $M$  и произвольных унитарных матриц  $U, V$  выполняется

$$(UMV)^+ = V^*M^+U^*. \quad (44)$$

Для доказательства (43) воспользуемся канонической формой относительно унитарного подобия вида (2). Проектор  $P$  имеет представление  $P = WQW^*$ , применим (44), получим  $P^+ = WQ^+W^*$ . Подставив  $P = WQW^*$  и  $P^+ = WQ^+W^*$  в (43) и применяя (44), получим, что формулу (43) надо доказать для проектора

$$P = Q = \text{diag} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \dots, \begin{bmatrix} 1 & x_k \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, I_m, 0_s \right\}.$$

Это нетрудно сделать, учитывая что

$$Q^+ = \text{diag} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^+, \dots, \begin{bmatrix} 1 & x_k \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^+, I_m, 0_s \right\},$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x \\ 0 & 0 \end{bmatrix}^+ = \frac{1}{1+x^2} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ x & 0 \end{bmatrix}.$$

#### Замечание 3

Доказательство теоремы 4 можно провести независимо для  $s$  и  $t$  из (31)

$$s = P - P(P - P^+P)^+P, \quad t = P(P - P^+P)^+P,$$

$$s^\# = s, \quad t^\# = (PP^+ - P^+)^+.$$

#### Библиографический список

1. Гутерман, А.Э. Фробениусовы эндоморфизмы пространств матриц: дисс. ... д-ра физ.-мат. наук / А.Э. Гутерман – М. 2008. – 37 с.
2. Воеводин, В.В. Энциклопедия линейной алгебры. Электронная система ЛИНЕАЛ / В.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 544 с.
3. Икрамов, Х.Д. О канонической форме проекторов относительно унитарного подобия / Х.Д. Икрамов // Вычисл. матем. и матем. физ., 1997. – Т. 37. – № 12. – С. 1441–1415.
4. Dokovic, D.Z. Unitary similarity of projectors// Aequationes Math. 1991. V. 42. P. 220-224.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИИ

К.В. ХАЙБУЛИНА, асп. МГОУ, МБОУ гимназия № 11 г. Королева, учитель биологии

karinahi@yandex.ru

Современный период развития цивилизованного общества, вступившего в двадцать первый век, сопровождается интенсивным развитием информационных ресурсов. Открываются и совершенствуются новые информационные технологии, охватывающие все сферы деятельности человека, в том числе и систему образования. «Внедрение новых информационных технологий в различные области современной системы образования принимает все более масштабный и комплексный характер» [6, 400].

И одним из приоритетных направлений модернизации образования является применение и использование современных средств ИКТ.

«ИКТ (Информационно-коммуникационные технологии) – совокупность методов, производственных процессов и программно-технических средств, интегрированных с целью сбора, обработки, хранения, распространения, отображения и использования информации в интересах ее пользователей» [8].

Социальный заказ общества, вызванный интенсивным развитием информационных ресурсов, сказывается и на профессиональной деятельности учителя. Важным качеством современного учителя является необходимость владения ИКТ компетенцией.

«ИКТ-компетентность – личная способность специалиста решать класс профессиональных задач, связанный с применением

информационно-коммуникационных технологий в своей профессиональной деятельности». [2]. Существует много вариантов применения ИКТ в учебном процессе. Это в значительной мере зависит от умения учителя использовать данное средство, правильно включать его в работу на уроке, а также умение целенаправленно работать с информацией.

Согласно социологическому исследованию, проведенному Центром социологии образования РАО, анкетирование свидетельствует о том, что российские учителя стремятся использовать возможности современных информационных технологий. Имеющиеся исследования свидетельствуют, что 47 % учителей создают банк данных по своему предмету, 39 % – создают банк данных по методикам преподавания. 65 % учителей предлагают домашние задания, выполнение которых требует использования компьютера, а 23 % ведут педагогические дневники в Интернете. [1, 7].

В области образования ИКТ используются для достижения следующих педагогических целей, а именно:

1. Развитие личности обучаемого, подготовка его к самостоятельной продуктивной деятельности в условиях информационного общества.

2. Реализация социального заказа, обусловленного информатизацией современного общества.

3. Интенсификация всех уровней учебно-воспитательного процесса [8].

Практика нашей работы в школе показала, что использование ИКТ при организации учебного процесса позволяет решить ряд задач разной направленности: увеличение наглядности, повышение эффективности процесса обучения, развитие творческих способностей, стимулирование мотивации обучения, развитие познавательного интереса, самообразование и индивидуализация обучения, выявление пробелов в знаниях учащихся. Использование дополнительной информации при организации учебно-познавательной деятельности с применением современных ИКТ и умение включать эту информацию в урок позволяют изменить традиционное преподавание.

В области традиционного образования давно назрел кризис, который признают почти все педагоги. Он явственно выражается в следующих противоречиях обучения:

- между мотивацией и стимуляцией учения школьников. Стимуляция многократно превосходит мотивацию. Учителя жалуются, что дети не хотят учиться, а учащиеся – на скуку, однообразии и непосильности учебы;

- между пассивно-созерцательными и активно-преобразовательными видами учебной деятельности. Учитель объясняет новый материал – остальные и слушают и не слушают. Такая пассивная созерцательность занимает большую часть урока [3].

Главным критерием эффективности работы учителя и образовательного процесса является качество знаний школьников. Анализ педагогической практики показывает, что сегодня учителя сталкиваются с проблемой снижения показателя качества знаний.

Это объясняется в том числе и тем, что в школьной практике преподавания явно выражены наиболее типичные недостатки: однообразие уроков, шаблонное изложение учебного материала учителем, недостаточное обучение умениям самостоятельной работы.

В то же время проведенные исследования показали, что применение ИКТ повышает динамику учебного процесса, активизирует потенциальные возможности ученика, повышает уровень наглядности, создает возможность обратной связи между преподавателем и учеником, а также способствует смене деятельности на уроке, расширяет возможности самостоятельной работы, позволяет обеспечить учебно-воспитательный процесс новыми учебными и методическими материалами.

В настоящее время существует большое разнообразие средств информатизации, применяемых в образовательном процессе. Они обладают обучающими возможностями, которые до конца не изучены и не внедрены в образовательный процесс из-за нехватки знаний по методике применения в учебном процессе.

В связи с этим возникает необходимость разработки методики правильного применения современных средств ИКТ в учебном процессе при преподавании курса биологии.

По нашему мнению, разработка методических рекомендаций по применению средств информатизации должна быть направлена на повышение эффективности обучения биологии.

Проведенный педагогический эксперимент позволил разработать методику организации познавательной деятельности учащихся с применением современных средств ИКТ на уроках биологии в 8 классах.

Экспериментальной базой исследования являлись школы Московской области г. Королев: МОУ гимназия № 11 (экспериментальные классы) и МОУ СОШ № 10 (контрольные классы). В ходе педагогического эксперимента были проведены контрольные работы, в которых приняли участие 100 человек из 8 классов. В контрольных классах преподавание велось по традиционной методике без использования ИКТ, а в экспериментальных классах – по традиционной методике с использованием ИКТ. После изучения трех тем курса «Кровообращение», «Дыхание» и «Нейрогуморальная регуляция» мы провели две контрольные работы: первую – сразу после изучения темы, а вторую – повторно через четыре недели.

Занятия с контрольными группами по традиционной методике проводились в кабинете биологии, не оборудованном компьютером, поэтому в процессе обучения использовались только традиционные средства обучения.

В экспериментальных классах в процессе работы использовались традиционные средства наглядности и современные средства ИКТ.

Известно, что 80 % информации человек получает через зрительный канал, 15 % через слуховой и 5 % с помощью тактильных ощущений. Наглядность – один из основных принципов дидактики. Биология – такой учебный предмет, в котором роль наглядности обучения общепризнанна.

Для экспериментальной работы по традиционной методике с использованием современных средств ИКТ необходимо было умение организовать процесс обучения и правильно включить и использовать данное средство в учебном процессе.

В экспериментальных классах преподавание проводилось по традиционной методике с применением компьютерных технологий.

В ходе эксперимента для организации учебно-познавательной деятельности на уроках применялись основные средства информатизации: компьютер (рабочее место учителя) и TV-экран, на который выводилась проекция изображения.

Исследования показали, что ИКТ целесообразно использовать при применении различных методов: словесных (беседа, объяснение, рассказ, лекция), наглядных, практических.

В процессе эксперимента мы пришли к выводу, что ИКТ при традиционной методике целесообразно использовать как один из элементов на уроке в начале вводной, основной или завершающей его части. В процессе эксперимента на уроке использовались компьютерные презентации, биологические компьютерные программы, компьютерное тестирование.

В начале урока средства ИКТ применялись для установления взаимосвязи изученного материала с новой темой и активизации познавательного интереса. Для этого использовались видеоресурсы с последующей постановкой вопроса или демонстрация иллюстраций, плакатов, схем, таблиц, 3Dмоделей.

В основной части урока, при объяснении в зависимости от содержания изучаемой темы и поставленных целей и задач на уроке применялась биологическая компьютерная программа и видеоресурс, которые раскрывали динамику биологических процессов и явлений.

На уроке изучения нового материала использовали комплексную программу, а также самостоятельный методический материал в виде мультимедийных презентаций. Возможности ИКТ позволяют сделать изучение более наглядным и понятным для учащихся.

При повторении, обобщении и закреплении материала на уроках применялась контролирующая часть комплексной программы, которая позволяет проверить, усвоен ли учеником изучаемый материал. Тестовый

Т а б л и ц а 1

**Результаты контрольного среза, проведенного после изучения темы «Кровообращение»**

Характеристика ответов	Контрольная группа		Экспериментальная группа Традиционная +ИКТ	
	абс.	%	абс.	%
Общее число работ	50	100	50	100
Правильные и полные ответы	4	8 %	5	10 %
Правильные, но неполные ответы	21	42 %	28	56 %
В ответах были допущены ошибки	19	38 %	14	28 %
Не справились с заданием	6	12 %	3	6 %
Качество знаний	50 %		66 %	
Успеваемость	88 %		94 %	
Коэффициент эффективности	0,56		0,70	

Т а б л и ц а 2

**Результаты контрольного среза, проведенного через месяц после изучения темы «Кровообращение»**

Характеристика ответов	Контрольная группа		Экспериментальная группа Традиционная +ИКТ	
	абс.	%	абс.	%
Общее число работ	50	100	50	100
Правильные и полные ответы	3	6 %	4	8 %
Правильные, но неполные ответы	18	36 %	28	56 %
В ответах были допущены ошибки	22	44 %	16	32 %
Не справились с заданием	7	14 %	2	4 %
Качество знаний	42 %		64 %	
Успеваемость	88 %		96 %	
Коэффициент эффективности	0,47		0,66	

Т а б л и ц а 3

**Результаты контрольного среза, проведенного после изучения темы «Дыхание»**

Характеристика ответов	Контрольная группа		Экспериментальная группа Традиционная +ИКТ	
	абс.	%	абс.	%
Общее число работ	50	100	50	100
Правильные и полные ответы	5	10 %	6	12 %
Правильные, но неполные ответы	22	42 %	29	58 %
В ответах были допущены ошибки	18	36 %	13	26 %
Не справились с заданием	5	10 %	2	4 %
Качество знаний	54 %		68 %	
Успеваемость	90 %		96 %	
Коэффициент эффективности	0,6		0,70	

контроль на компьютере оценивает результат изученной темы, выявляется уровень базовых знаний, необходимых для осознанного восприятия изучаемого материала.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, были установлены в процессе количественной обработки с помощью статистических методов. [4, 5].

Наши исследования показали, что учащиеся усваивают материал лучше при организации работы с применением ИКТ в учебном процессе. Результаты, полученные в экспериментальных классах, выше, чем в контрольных.

Качество знаний учащихся сразу после изучения темы «Кровообращение» в экс-

**Результаты контрольного среза, проведенного через месяц  
после изучения темы «Дыхание»**

Характеристика ответов	Контрольная группа		Экспериментальная группа Традиционная +ИКТ	
	абс.	%	абс.	%
Общее число работ	50	100	50	100
Правильные и полные ответы	4	8 %	6	12 %
Правильные, но неполные ответы	21	42 %	27	54 %
В ответах были допущены ошибки	18	36 %	16	32 %
Не справились с заданием	7	14 %	1	2 %
Качество знаний	50 %		66 %	
Успеваемость	86 %		98 %	
Коэффициент эффективности	0,58		0,67	

Т а б л и ц а 5

**Результаты контрольного среза, проведенного после изучения темы  
«Нейрогуморальная регуляция процессов жизнедеятельности»**

Характеристика ответов	Контрольная группа		Экспериментальная группа Традиционная +ИКТ	
	абс.	%	абс.	%
Общее число работ	50	100	50	100
Правильные и полные ответы	4	8 %	6	12 %
Правильные, но неполные ответы	21	42 %	30	60 %
В ответах были допущены ошибки	19	38 %	13	26 %
Не справились с заданием	6	12 %	1	2 %
Качество знаний	50 %		72 %	
Успеваемость	88 %		98 %	
Коэффициент эффективности	0,56 %		0,73 %	

Т а б л и ц а 6

**Результаты контрольного среза, проведенного через месяц после изучения темы  
«Нейрогуморальная регуляция процессов жизнедеятельности»**

Характеристика ответов	Контрольная группа		Экспериментальная группа Традиционная +ИКТ	
	абс.	%	абс.	%
Общее число работ	50	100	50	100
Правильные и полные ответы	4	8 %	7	14 %
Правильные, но неполные ответы	17	34 %	29	56 %
В ответах были допущены ошибки	21	42 %	13	26
Не справились с заданием	8	16 %	1	2
Качество знаний	42 %		70 %	
Успеваемость	84 %		96 %	
Коэффициент эффективности	0,5 %		0,73 %	

периментальной группе составило 66 %, а в контрольной группе – 50 %. При повторной проверке через месяц качество знаний в экспериментальной группе понизилось на 2 % и составило 64 %. В контрольной группе – понизилось на 8 % и составило 42 %. Объяснить

этот факт можно тем, что в ходе систематической работы в экспериментальных классах использовались средство ИКТ на уроках для обучения, закрепления и проверки знаний. В контрольных же группах такой работы не проводилось.

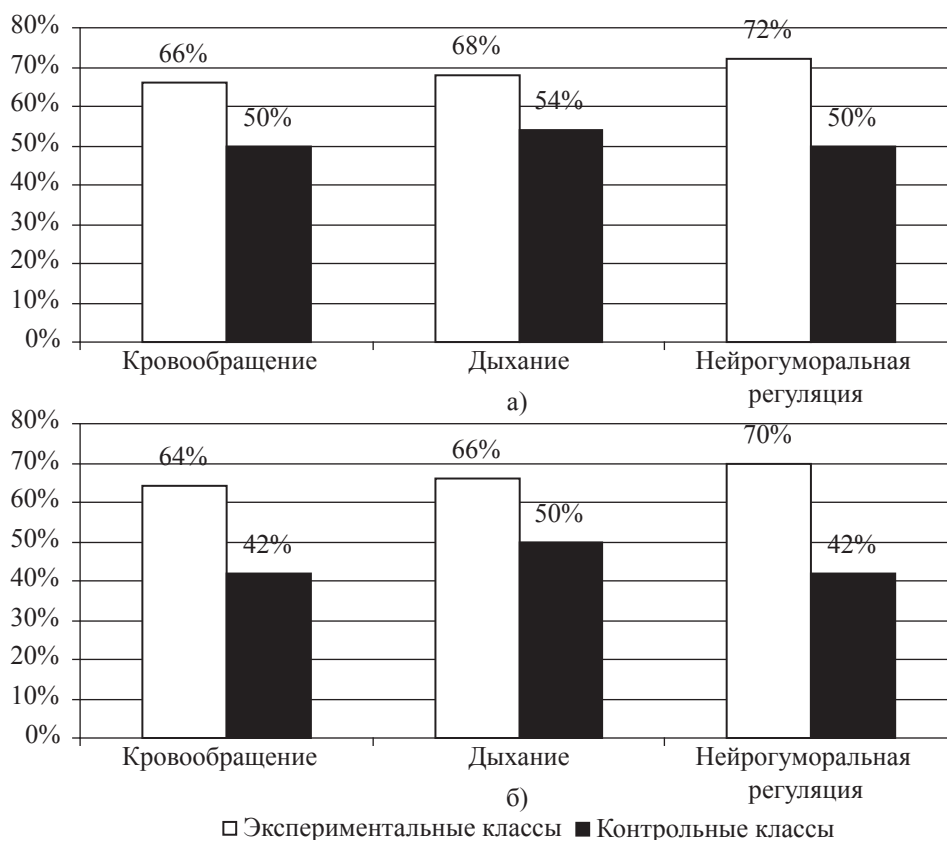


Рис. 1. Динамика качества знаний учащихся в экспериментальных и контрольных классах: а) сразу после изучения тем (в %); б) через месяц после изучения тем (в %)

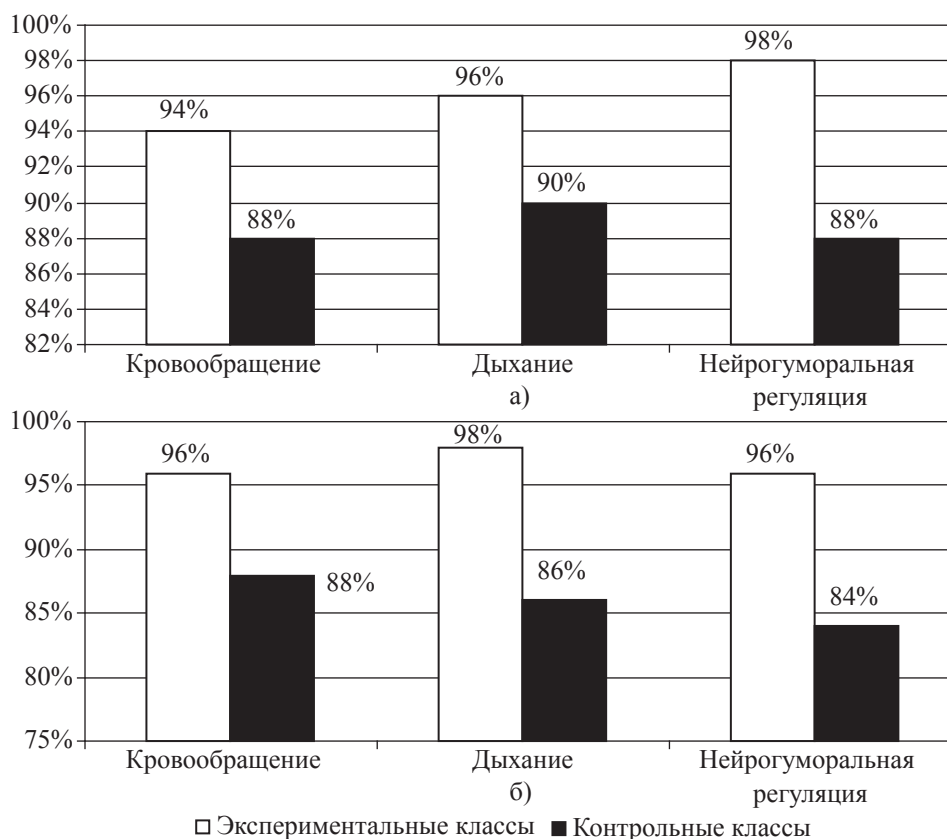


Рис. 2. Динамика успеваемости учащихся в экспериментальных и контрольных классах: а) сразу после изучения тем (в %); б) через месяц после изучения тем (в %)

Сходные результаты мы получили и при изучении других тем курса биологии 8 класса.

Сравнение результатов динамики качества знаний учащихся и их успеваемости по трем темам курса биологии 8 класса показывает, что в экспериментальных классах данные показатели значительно выше, чем в контрольных.

Таким образом, результаты наших исследований показали, что сочетание ИКТ и традиционных средств обучения в экспериментальных классах помогли максимально задействовать все каналы учащихся для восприятия потока информации, в результате эффективность обучения значительно повысилась.

### Библиографический список

1. Ивайлова, И. Вам e-mail, директор / И. Ивайлова // Российская газета. Центральный вып. – № 4812.2008 г. 15 дек.
2. Коржачкина, О.М. Профессиональная деятельность учителя в условиях информатизации образования: науч.-метод. сб. / Коржачкина О.М. – М.: Глосса пресс, 2010 – 398 с.
3. Педагогические технологии: учебное пособие для студентов педагогических специальностей / под общ. ред. В.С. Кукушкина. – М.: «МарТ»; Феникс, 2010. – 333 с.
4. Кыверялг, А.А. Вопросы методики педагогического исследования. Ч.2 / А.А. Кыверялг. – Таллин, 1971. – 227с.
5. Кыверялг, А.А. Методы исследования в профессиональной педагогике / А.А. Кыверялг. – Таллин: Валгус, 1980. – 334 с.
6. Студенкин, С.И. Дидактика. Современные методы и средства обучения. Учебно-методическое пособие / С.И. Студенкин. – М.: «Спутник +», 2011. – 464 с.
7. Титов, Е.В. Методика применения информационных технологий в обучении биологии: учебное пособие для студ. учреждений ВПО / Е.В.Титов, Л.В.Морозова. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. –С. 12.
8. Трайнев, В.А. Информационные коммуникационные педагогические технологии (обобщения и рекомендации): Учеб. пос. / В.А. Трайнев, И.В. Трайнев. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2005. – С. 51, 190.

## ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА

В.Л. ВОРОНЦОВ, *начальник научно-методического отдела ОАО «Научно-производственное объединение измерительной техники»*, канд. техн. наук,  
П.А. САМОЙЛОВ, *начальник управления ВЦ филиала ОАО «Научно-производственное объединение измерительной техники» в г. Байконуре*

*a762642@yandex.ru*

Анализ управленческих решений, касающихся построения и развития бортовых радиотелеметрических систем (БРТС) и программно-технических средств (ПТС) телеметрического комплекса космодрома (ТК), и результатов их исполнения свидетельствует о необходимости разработки соответствующей единой концепции. Основным недостатком существующего подхода к построению и развитию заключается в том, что решения принимаются без опоры на солидную научную базу, содержат в себе явно недопустимую долю субъективизма. С другой стороны, необходимые знания разрознены, их структу-

рирование неочевидно из-за сложности задач построения, развития и применения БРТС и ПТС ТК [1]. Отсюда – актуальность разработки научной концепции, определяющей суть основных стратегий построения и развития БРТС и ПТС ТК, являющейся ориентиром при принятии необходимых организационно-технических решений.

Результат операции усовершенствования БРТС и ПТС ТК ставится в зависимость от полезного эффекта, затраченных материальных ресурсов и времени, которые, в свою очередь, зависят от выбранной стратегии ее проведения. Причем полезный эффект свя-



зан с улучшением качества данных результатов обработки телеметрической информации (ТМИ), с сокращением затрачиваемых материальных ресурсов и повышением оперативности при выполнении задач информационно-телеметрического обеспечения (ИТО). Перечисленные показатели используются [1] для оценивания эффективности операции усовершенствования БРТС и ПТС ТК.

При решении задач усовершенствования БРТС и ПТС ТК улучшаются отдельные характеристики, влияющие на общие показатели эффективности. Поэтому возникает потребность в методиках, определяющих зависимость между общими и частными показателями эффективности. Таковой, например, является методика оценивания качества алгоритмов получения обобщенных данных, устанавливающая связь между характеристиками улучшения достоверности обобщенных данных и качеством данных результатов обработки ТМИ [1].

Необходимым условием выполнения требований к эффективности является уменьшение неопределенности процесса построения и развития БРТС и ПТС ТК путем его большей регламентации. Необходимыми инструментами регламентации являются предполагаемые отечественные стандарты телеметрии, относящейся к ракетно-космической и ракетной технике (РКиРТ). Стандартами должны быть узаконены обоснованные [1] ограничения суммарной мощности потоков ТМИ каналов «борт–Земля», свойства (характеристики) ТМИ, формируемой БРТС и средствами ТК.

Показано [2] осуществление вышеупомянутой регламентации официальным выбором режимов информационного обслуживания объектов измерений в зависимости от численности и особенностей телеметрируемых параметров. При этом нужно стремиться не к уменьшению многообразия структур ТМИ, а, наоборот, к его увеличению для обеспечения наиболее результативной адаптации БРТС к изменяющимся состояниям объектов измерений. Необходимое условие обеспечения многообразия структур – результативное управление процессом преобразования данных (сигналов) ТМИ на передающей и приемной сторонах. Оно выполняется при соблюдении

определенных правил формирования ТМИ, например, представленных в положениях стандартов CCSDS. Целесообразность реализации рассматриваемого режима информационного обслуживания определяется соответствующими показателями эффективности.

В перспективе следует ожидать использования всех существующих режимов информационного обслуживания объектов измерений (регулярного, программируемого, адаптивного [3, 4]), а значит, нужно предусмотреть соответствующие им способы формирования блоков данных в БРТС, исходя из которых телеметрия условно делится [5] на кадровую и пакетную. Очевидно, исходя из актуальности как кадровой, так и пакетной телеметрии для РКиРТ, в стандартах IRIG представлены оба класса [6]. Показаны [1] широкие возможности формирования рациональных структур ТМИ в БРТС и ее компактного представления в условиях жестких ограничений пропускной способности каналов «борт–Земля» и большого риска полетных аварий.

Результаты примененного метода проблемно-ориентированного морфологического анализа для выбора вариантов альтернативных стратегий построения и развития БРТС и ПТС ТК дополняют полученные ранее [1] результаты в соответствии с целью данной работы. В процессе предварительного анализа заблаговременно отбраковывались явно неподходящие варианты. Количество комбинаций значений морфологических признаков, отобранных для дальнейшего анализа, значительно уменьшилось.

В качестве морфологического признака  $Mpr_1$  рассмотрены способы разнесения ТМИ, необходимость которого обоснована [1]. Характеристики  $Mpr_1$  соответствуют комбинированию (табл. 1):

- стационарных измерительных пунктов (ИПов);
- временных ИПов (ВИПов);
- подвижных измерительных комплексов (ПИК) (автомобильных, авиационных, корабельных);
- спутников-ретрансляторов (СР).

Использование для разнесения ТМИ телеметрических средств технической пози-

ции (ТП) и стартового комплекса (СК) нецелесообразно по следующим причинам:

- имеет место большая вероятность накладок из-за совпадения по времени задач ИТО, решаемых на ТП и решаемых измерительным комплексом космодрома (ИКК);

- ПТС для ТП и для ТК экономически целесообразно комплектовать с учетом специфики решаемых задач (как это и делается в настоящее время); в частности, на ТП используют менее дорогие, но и менее эффективные антенные системы, не применяют устройства автовыбора в приемно-регистрирующих станциях (ПРС) – и т.д.;

- принадлежность телеметрических средств разным предприятиям существенно усложнит организацию управления технологическими процессами с их применением;

- технология работы на ТП, СК с применением телеметрических средств существенно отличается от технологии применения аналогичных средств ТК; потребуются дополнительные знания и навыки персонала ТП (это усложнит его задачи, создаст предпосылки к ошибочным действиям);

- дальнейшая модернизация совокупных телеметрических средств (размещен-

ных на ТК, СК, ИПах и в ВЦ) потребует от ее идеологов хорошего знания предметной области, касающейся как ТП и СК, так и ТК, при имеющем место дефиците таких многогранных специалистов.

Поэтому альтернативы, соответствующие телеметрическим средствам ТП и СК, в дальнейшем не рассматривались.

Для последующего анализа выбраны наиболее соответствующие данному исследованию альтернативные варианты ( $Mpr_1 = \{1, 4, 5, 8, 9, 12\}$ , табл. 1). Их актуальность в значительной мере зависит от условий отработки изделий РКиРТ, характеризуемых частотой пусков (например, количеством пусков в год), прогнозируемыми зонами радиовидимости. При редких пусках актуальность ВИПов возрастает. При выполнении условия ограничения суммарной мощности потоков ТМИ каналов «борт-Земля» создаются благоприятные условия для применения ПИК и СР, сокращения численности ПРС в составе ТК. Возможности построения и развития ПИК зависят также от выполнения ужесточенных требований к массово-габаритным характеристикам ПТС, предназначенным для включения в их состав.

При выборе стратегий, соответствующих  $Mpr_1$ , важно знать требуемую численность ИП, ВИП и ПИК в составе ИКК; количество ПРС на каждом из них. Для этого необходима методика оценивания качества ТМИ в зависимости от сущностей каналов разнесения с установлением связи между оценками качества ТМИ и общими показателями эффективности, характеризующими процесс построения и развития БРТС и ПТС ТК, (например, представленная в работе [1]). В настоящее время из-за отсутствия такой официально принятой методики количество ИПов в составе ИКК и количество размещаемых на них ПРС определяется по наитию, их численность сокращается при том, что качество ТМИ, обеспечиваемое вводимыми в состав ТК новыми (на базе ПЭВМ) ПРС, не улучшается. В условиях игнорирования требований к качеству ТМИ кажется привлекательной стратегия построения «однопунктного» ИКК, т.к. выгода, связанная с сокращением материальных затрат, очевидна, а ухудшение качества ТМИ при этом не учитывается.

Т а б л и ц а 1

**Характеристики альтернативных вариантов, соответствующих морфологическому признаку  $Mpr_1$**

$Mpr_1$	ИП	ВИП	ПИК	СР
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	1	1	0	0
4	0	0	1	0
5	1	0	1	0
6	0	1	1	0
7	1	1	1	0
8	0	0	0	1
9	1	0	0	1
10	0	1	0	1
11	1	1	0	1
12	0	0	1	1
13	1	0	1	1
14	0	1	1	1
15	1	1	1	1

Условные обозначения: «0» – отсутствие, «1» – наличие ИП, ВИП, ПИК или СР.

Доказано [1], что на практике на один комплект БРТС должно приходиться не менее 4÷6 ПРС, размещенных на 3-х÷4-х пристартовых ИПах. При неизменности условий обработки изделий РКиРТ и качества БРТС для построения нового ТК (например, на космодроме Восточный) существуют уже апробированные (например, на космодроме Байконур) общие стратегии. Однако такой путь развития отечественной практической телеметрии, относящейся к РКиРТ, является тупиковым. Обосновано [1], что для выполнения требований к эффективности, характеризующей процесс построения и развития БРТС и ПТС ТК, необходимы принципиально новые технические решения, связанные, прежде всего, с интеллектуализацией БРТС.

В качестве характеристик морфологического признака  $Mpr_2$  рассмотрены общие подходы к формированию обобщенного массива данных телеизмерений (ФОМДТ) в ВЦ космодрома или в центре типа ЦСОАИ (ЦСОАИ – центр сбора, обработки и анализа информации, например, размещенный в г. Краснознаменске в Подмосковье). Его характеристики соответствуют ФОМДТ:

- в темпе поступления ТМИ, причем управление процессом формирования и передачи ТМИ в БРТС:

- осуществляется ( $Mpr_2=1$ );

- отсутствует ( $Mpr_2=2$ );

- после накопления ТМИ в ВЦ космодрома или в центре типа ЦСОАИ ( $Mpr_2=3$ ).

Возможности и особенности подходов, относящихся к морфологическому признаку  $Mpr_2$ , в значительной мере зависят от свойств ТМИ (прежде всего, формируемой в БРТС), что поясняется результатами исследований [1]. Сегодняшние возможности отечественной практической телеметрии ограничены вариантом  $Mpr_2=3$ .

В качестве морфологического признака  $Mpr_3$  рассмотрено место осуществления ФОМДТ:

- в центре типа ЦСОАИ ( $Mpr_3=1$ );

- в ВЦ космодрома ( $Mpr_3=2$ ).

Исходим из того, что в случае  $Mpr_3=2$  ВЦ размещается на площадке № 10 космодрома, являющейся основной жилой площад-

кой (на космодроме Байконур – это г. Байконур). Вариант размещения ВЦ на территории одного из ИПов или отдельной площадке, удаленной от площадки № 10, в дальнейшем не рассматривался как неактуальный по следующим причинам:

- понадобятся дополнительные материальные затраты на обеспечение жизнедеятельности относительно многочисленного персонала ВЦ с учетом ненормированного рабочего дня (доставка к месту работы, организация приема пищи и т.д.);

- в ВЦ постоянно (в том числе и в ночное время) осуществляются работы с участием и в интересах многочисленных представителей различных внешних организаций, для которых необходимость прибытия на удаленную площадку значительно ограничит их возможности, а, значит, и возможности ВЦ; понадобятся дополнительные усилия и материальные затраты на доставку этих представителей в ВЦ.

В качестве морфологического признака  $Mpr_4$  рассмотрено место осуществления анализа данных результатов обработки ТМИ с целью получения заключения о функционировании бортовых систем изделий РКиРТ. Характеристики морфологического признака  $Mpr_4$  соответствуют осуществлению всех этапов анализа в едином для всех космодромов центре (типа ЦСОАИ,  $Mpr_4=1$ ) и непосредственно на космодромах ( $Mpr_4=2$ ). Операциям анализа предшествуют соответствующие этапы обработки ТМИ, осуществляемые там же.

Альтернативное решение задач анализа связано с независимой экспертизой (аналогичной осуществляемой в настоящее время подразделениями Министерства Обороны), поэтому не имеет отношения к подразделениям анализа при генеральных конструкторах РКиРТ (их актуальность не вызывает сомнений). Также заведомо неприемлема ликвидация независимой экспертизы.

Не рассматривались (как ущербные) в качестве альтернативных стратегии распределения задач анализа между космодромом и центром типа ЦСОАИ. Идея минимизации задач обработки ТМИ в ВЦ космодрома путем сужения их спектра до экспресс- и оперативной обработки для ведения репортажа и общей

Характеристики общих стратегий построения и развития БРТС и ПТС ТК в виде комбинаций характеристик морфологических признаков  $Mpr_1$ ,  $Mpr_2$ ,  $Mpr_3$  и  $Mpr_4$

$u_p, i=$	$Mpr_1$	$Mpr_2$	$Mpr_3$	$Mpr_4$	$u_p, i=$	$Mpr_1$	$Mpr_2$	$Mpr_3$	$Mpr_4$
1	1	1	1	1	37	1	1	1	2
2	4	1	1	1	38	4	1	1	2
3	5	1	1	1	39	5	1	1	2
4	8	1	1	1	40	8	1	1	2
5	9	1	1	1	41	9	1	1	2
6	12	1	1	1	42	12	1	1	2
7	1	2	1	1	43	1	2	1	2
8	4	2	1	1	44	4	2	1	2
9	5	2	1	1	45	5	2	1	2
10	8	2	1	1	46	8	2	1	2
11	9	2	1	1	47	9	2	1	2
12	12	2	1	1	48	12	2	1	2
13	1	3	1	1	49	1	3	1	2
14	4	3	1	1	50	4	3	1	2
15	5	3	1	1	51	5	3	1	2
16	8	3	1	1	52	8	3	1	2
17	9	3	1	1	53	9	3	1	2
18	12	3	1	1	54	12	3	1	2
19	1	1	2	1	55	1	1	2	2
20	4	1	2	1	56	4	1	2	2
21	5	1	2	1	57	5	1	2	2
22	8	1	2	1	58	8	1	2	2
23	9	1	2	1	59	9	1	2	2
24	12	1	2	1	60	12	1	2	2
25	1	2	2	1	61	1	2	2	2
26	4	2	2	1	62	4	2	2	2
27	5	2	2	1	63	5	2	2	2
28	8	2	2	1	64	8	2	2	2
29	9	2	2	1	65	9	2	2	2
30	12	2	2	1	66	12	2	2	2
31	1	3	2	1	67	1	3	2	2
32	4	3	2	1	68	4	3	2	2
33	5	3	2	1	69	5	3	2	2
34	8	3	2	1	70	8	3	2	2
35	9	3	2	1	71	9	3	2	2
36	12	3	2	1	72	12	3	2	2

оценки качества полета изделий РКиРТ не нова. Однако ее практическая реализация не создаст ожидаемых преимуществ. Процесс обработки ТМИ (и, соответственно, анализа) подчинен единой цели и делится на этапы (экспресс-, оперативная, полная первичная, полная вторичная обработка) из-за того, что не представляется возможным обеспечить требуемое для проведения полного анализа качество данных результатов обработки в короткие сроки (например, в темпе полета), особенно при возникновении на объекте измерений нештатных ситуаций.

Практика показывает жизнеспособность варианта  $Mpr_4=2$ , его статус подтвержден существующими руководящими документами.

В то же время до сих пор ЦСОАИ в г. Краснознаменске, образованный в начале 90-х годов 20-го века, не имеет возможностей выполнить в полном объеме задачи, соответствующие варианту  $Mpr_4=1$ . Такое положение дел объясняется тем, что целевые задачи, решаемые отдельными космодромами, достаточно автономны; зачастую требуется оперативное включение подразделений анализа в работу непосредственно на территории космодрома, а существующая чрезмерная избыточность ТМИ значительно затрудняет решение задач, связанных с ее передачей на большие расстояния.

Общие стратегии построения и развития БРТС и ПТС ТК соответствуют ком-

бинациям значений морфологических признаков  $Mpr_1 = \{1, 4, 5, 8, 9, 12\}$ ,  $Mpr_2 = \{1, 2, 3\}$ ,  $Mpr_3 = \{1, 2\}$ ,  $Mpr_4 = \{1, 2\}$  (табл. 2). Рассмотрены наиболее рациональные сценарии их реализации (рис. 1), отражающие две основные тенденции (централизация и децентрализация процессов обработки ТМИ и анализа данных результатов обработки). При практическом осуществлении последовательности стратегий какие-либо из них могут игнорироваться (например, после  $u_{69}$  может следовать  $u_{63}$ , а не  $u_{68}$ ). В отдаленной перспективе может оказаться целесообразным переход к стратегиям централизации (рис. 2). Однако такой переход не должен быть следствием волюнтаристских управленческих решений. Необходимо его соответствие уровню развития ПТС и информационных технологий. Его целесообразность должна быть подтверждена вычисленными показателями эффективности. В этой связи в качестве аналога полезен опыт анализа процесса развития АСУ [7, 8, 9].

В настоящее время наиболее эффективные стратегии развития БРТС и ПТС ТК касаются совершенствования технологии ФОМДТ. Причем, наилучшие из них связаны с интеллектуализацией БРТС [1]. Такой характер развития направлен на сокращение численности ИПов, ПРС и других ПТС в составе ТК и одновременно – на обеспечение требуемого качества ТМИ.

Кроме ТМИ изделий РКиРТ, к ТК имеют отношение (или могут иметь отношение при реализации соответствующих стратегий) и другие информационные потоки, содержащие:

- данные, относящиеся к административным процессам;
- технологические данные (время включения, выключения ПТС ТК; их режимы работы; целеуказания для наведения антенн и т.д.);
- данные управления и контроля состояния ПТС ТК (подсистема типа АСУ ТП [10]);
- ТМИ космического аппарата (КА);
- целевая информация с КА.

Актуальность рассмотрения отдельных информационных потоков и соответствующих источников и получателей информации и их местоположения следует из анализа

альтернативных стратегий построения и развития БРТС и ПТС ТК.

В частности, в обозримой перспективе обмен данными управления и контроля состояния ПТС ТК (а в более далекой перспективе – и БРТС) целесообразен лишь в границах территории отдельного космодрома. При этом главный пункт обмена – командно-координационный пункт (ККП), который (как показывает существующая практика) целесообразно территориально совместить с ВЦ космодрома. В настоящее время необходимость создания каких-либо других пунктов и центров (типа ЦКЭР – центра координации эксплуатации и развития, ЦСАКП – центра ситуационного анализа, координации и планирования) представляется нецелесообразной.

Реализация стратегий пакетной телеметрии, относящейся к РКиРТ, а также к ТМИ КА и к целевой информации с КА, позволила бы создать реальные условия для осуществления декларируемой уж много лет концепции «интеграции ИКК и НАКУ КА», значительно расширив функциональные возможности ТК (НАКУ КА – наземный автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами).

Для создания условий обеспечения требуемой эффективности, относящейся к процессу построения и развития БРТС и ПТС ТК, необходимы также организационные меры, касающиеся кадровой политики

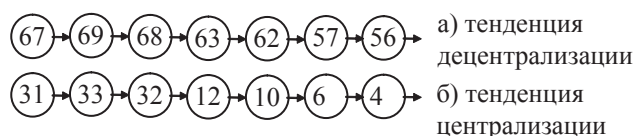


Рис. 1. Наиболее рациональные сценарии реализации стратегий построения и развития БРТС и ПТС в виде графов (номера вершин соответствуют номерам стратегий в табл. 2)

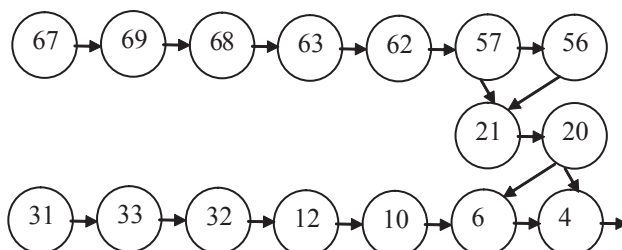


Рис. 2. Возможные сценарии реализации стратегий централизации в отдаленной перспективе

и оплаты услуг, оказываемых с применением ПТС ИКК.

Кадровая политика должна быть направлена на закрепление высококвалифицированных специалистов на космодромах, на предприятиях ракетно-космической отрасли, в вузах (включая военные вузы). Она должна строиться на основе патернализма.

Политика оплаты услуг, оказываемых с применением ПТС ИКК, должна способствовать минимизации материальных затрат на развитие, поддержание и применение БРТС и ПТС ТК при удовлетворении требований к качеству данных результатов обработки ТМИ и к оперативности решения задач ИТО. Причем требования необходимо узаконить (например, в положениях предполагаемых отечественных стандартов телеметрии, относящейся к РКирТ). При поощрении минимизации материальных затрат в условиях отсутствия вышеупомянутых требований создаются предпосылки неоправданных изменений состава ПТС ТК (это наблюдается сегодня).

Необходимым условием практической реализации предложенных общих стратегий построения и развития БРТС и ПТС ТК является их представление в виде руководящих документов, регламентирующих процесс построения и развития. Один из них – вышеупомянутые отечественные стандарты телеметрии, относящейся к РКирТ. Другой обязательный руководящий документ – «Директива основных концептуальных направлений развития ИКК...». Директива должна отражать специфику развития измерительного комплекса конкретного космодрома (например, космодрома Байконур или космодрома Восточный) в перспективе ~10 лет. Кроме технических решений, относящихся к общим стратегиям построения и развития БРТС и ПТС ТК, в ней должны быть прописаны организационные меры, касающиеся кадровой политики и оплаты оказываемых услуг.

Таким образом, возможны два направления построения и развития БРТС и ПТС ТК, связанные с централизацией и децентрализацией процессов обработки ТМИ и анализа данных результатов ее обработки. Выбор лучшего из них должен определяться по со-

ответствующим показателям эффективности. Следует также заметить, что технические решения, относящиеся к общим стратегиям построения и развития БРТС и ПТС ТК, касающиеся уменьшения мощности информационных потоков в каналах «борт-Земля», улучшения качества приема ТМИ отдельными ПРС, улучшения массово-габаритных характеристик ПИК и т.д., актуальны для обоих направлений. Окончательный выбор направления централизации или децентрализации должен быть сделан в относительно отдаленной перспективе по реальным результатам развития БРТС и ПТС для ТК и соответствующих информационных технологий.

### Библиографический список

1. Воронцов, В.Л. Методы разнесенного приема телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома. – 2-е изд., перераб. и доп. – Набережные Челны: Изд-во Кам. гос. инж.-экон. акад., 2009. – 284 с.
2. Артемьев, В.Ю. О подходах к разработке отечественного стандарта по телеметрии в ракетно-космической и ракетной технике / В.Ю. Артемьев, В.Л. Воронцов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 1. – С. 32–38.
3. Мановцев, А.П. Основы теории радиотелеметрии / А.П. Мановцев. – М.: Энергия, 1973. – 592 с.
4. ГОСТ 19619-74. Оборудование радиотелеметрическое. Термины и определения. – М.: Изд-во официальное, 1988. – 26 с.
5. Horan S. Introduction to PCM Telemetry Systems, CRC Press, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo, 1993. – 301p.
6. Telemetry Group, Range Commanders Council, *Telemetry Standards (Part 1), IRIG Standard 106-07*, Range Commanders Council, U.S. Army White Sands Missile Range, New Mexico, September 2007.
7. Потапова, Т.Б. Структурный анализ системы управления непрерывным замкнутым производством // Приборы и системы управления. – 1999. – № 12.
8. Потапова, Т.Б. Методология анализа рациональных путей модернизации автоматизированных систем на предприятиях непрерывной технологией // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 7. – С. 1–11.
9. Потапова, Т.Б. Синергетика управления непрерывным производством. Проблемы автоматизации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2000. № 9. – С. 1–12.
10. Шестопалова, О.Л. Основы построения систем сбора и обработки информации о техническом состоянии космических средств. – Набережные Челны: Изд-во Камской госуд. инж.-экон. акад., 2007. – 92 с.

## НАНОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИЕЙ

Н.А. БЕДРО, *вед. специалист ОАО «НПО Геофизика-НВ»*,  
И.В. ВОРОНИН, *инженер ОАО «НПО Геофизика-НВ»*,  
М.Н. КОМАРОВА, *вед. инженер ОАО «НПО Геофизика-НВ»*

*job\_nick@mail.ru, ing3\_0481@geo-nv.ru, ingenkonst@geo-nv.ru*

**В** микроэлектромеханических датчиках получили широкое применение емкостные преобразователи механического перемещения в напряжение. В настоящее время емкостные преобразователи являются самыми высокоточными, имеющими большой динамический диапазон измерения. В классических маятниковых акселерометрах при рабочих емкостях несколько десятков пикофард погрешность масштабного коэффициента доходит до 0,01 %, а динамический диапазон – до  $10^7$ . В микромеханических датчиках рабочие емкости составляют несколько десятых пикофарды и разрешение определяется выходными и паразитными емкостями предварительных усилителей обслуживающей электроники, которые у самых лучших операционных усилителей несколько тысячных пикофарды. Поэтому у МЭМС датчиков погрешность масштабного коэффициента не превышает (0,05÷0,1) %, а спектральная плотность шума нулевого сигнала 0,15 мВ/√Гц.

В нанодатчиках рабочая емкость еще ниже и составляет (0,1÷1) фемтофарды и соответственно использование емкостных преобразователей практически невозможно.

Использование автоэлектронных преобразователей позволяет при наноразмерных вискерах получить более чем на порядок ниже спектральную плотность шума нулевого сигнала и минимальную погрешность масштабного коэффициента и при этом сохранить точностные характеристики.

Под микроэлектромеханическими измерительными преобразователями (НЭМИП) подразумевается три класса датчиков:

- микроэлектромеханический измерительный преобразователь линейного ускорения (НМА);

- микроэлектромеханический измерительный преобразователь угловой скорости и линейного ускорения (НМГА)

- микроэлектромеханический измерительный преобразователь для обнаружения и определения параметров тепловых полей малой интенсивности в инфракрасной и терагерцовой области спектра (НТЭМП)

Принцип действия НЭМИП-НМА состоит в следующем. Между нижней поверхностью консоли и эмиссионным слоем задается электрическое поле. При изменении проекции линейного ускорения на ось  $Y$  происходит механическая деформация консоли, в результате чего изменяется электрическое поле, величина которого прямо пропорциональна линейному ускорению вдоль оси  $Y$ . Измеряя величину электрического поля, можно получить информацию о составляющей линейного ускорения.

Принцип действия НЭМИП-НМГА основан на измерении амплитуд угловых колебаний консоли, вызванных Кориолисовыми силами инерции или поступательными движениями чувствительной массы. Чувствительная масса с помощью электростатических сил приводится в колебательное движение.

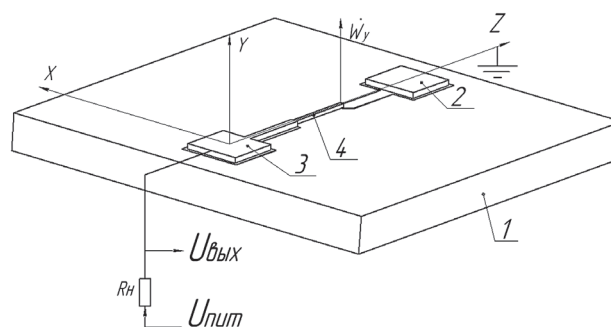


Рис. 1. Функциональная схема НЭМИП-НМА: 1 – основание; 2,3 – контактные площадки катода и анода соответственно; 4 – ЧЭ консольного типа

При вращении основания относительно оси чувствительности НЭМИП-НМГА возникает Кориолисова сила инерции. При наличии упругого подвеса Кориолисова сила инерции вызывает поступательные колебания чувствительной массы (угловые колебания консо-

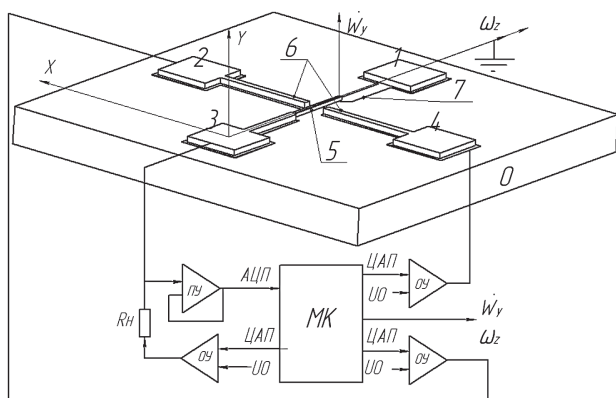


Рис. 2. Функциональная схема НЭМИП-НМГА на основе микроконтроллера. 0 – основание; 1, 2, 3, 4 – контактные площадки катода, 1-го электрода возбуждения, анода, 2- электрода возбуждения соответственно; 5 – ЧЭ консольного типа; 6 – электроды возбуждения; 7 – катод; МК – микроконтроллер; ПУ – предварительный усилитель; ОУ – операционный усилитель

ли) с амплитудой, которая пропорциональна измеряемой угловой скорости. Для того чтобы амплитуда вынужденных колебаний обладала необходимой величиной и точность ее снятия была приемлемой, необходимо, чтобы уровень шумов, порожденный электронными элементами, был небольшим. Этого можно добиться, если НЭМИП-НМГА изготовить, воспользовавшись тонкопленочной технологией.

Функциональная схема НЭМИП-НМГА представлена на рис. 2. В конструкции НЭМИП-НМГА применяется динамическая настройка, которая обеспечивает строгое совпадение возбуждаемой частоты с собственной частотой чувствительной массы в упругом подвесе. Для обеспечения требуемой полосы пропускания в приборе применяется обратная связь.

Электронная схема обработки сигнала включает в себя также сопротивление нагрузки, предварительный усилитель и микроконтроллер. Сигнал, снимаемый с маятника через предварительный усилитель, поступает на аналого-цифровой вход микроконтроллера. Микроконтроллер обрабатывает аналоговый входной сигнал и выдает в цифровом виде величину проекции линейного ускорения и угловой скорости.

Принцип действия принципиально нового чувствительного элемента терагерцового наноэлектромеханического приемника (НЭМИП-НТЭМП) основан на преобразовании терагерцового (теплого) излучения в механическую деформацию наноразмерной биметаллической пластинки, установленной на микроминиатюрной опоре. Для преобразования данной деформации в электрический сигнал используется автоэлектронная эмиссия. Структура чувствительного элемента представлена на рис. 3, а принцип действия элемента под действием ТГц излучения иллюстрируется на рис. 4 и рис. 5. В состав матрицы НЭМИП-НТЭМП будут входить совокупность чувствительных элементов (ЧЭ) с электронными ключами опроса, строчный и столбцовый мультиплексоры, вакуумированный корпус с возможностью термостабилизации.

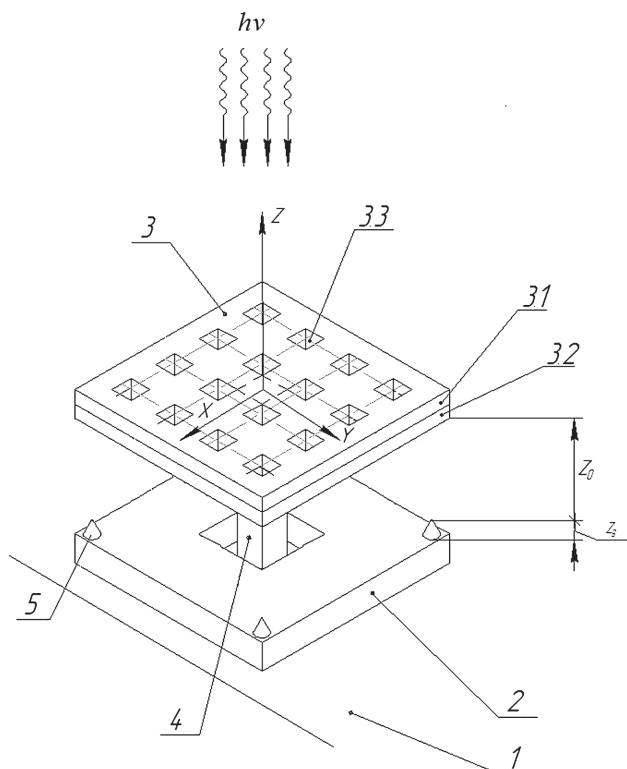


Рис. 3. Чувствительный элемент НЭМИП-НТЭМП (при  $T = T_0$ )



Основой НЭМИП-НТЭМП является ЧЭ, структура которого приведена на рис. 3. Чувствительный элемент НТЭМП с автоэлектронной эмиссией расположен на подложке 1, выполненной из кремния или сапфира, и состоит из микробиметаллической площадки преобразователя 3, преобразующей инфракрасное излучение в тепло. Биметаллический преобразователь 3 состоит из двух слоев 3.1 и 3.2. Слой 3.1 выполнен из алюминия, а слой 3.2 из вольфрама, имеющих технологические отверстия 3.3. На поверхность площадки 3 для повышения эффективности регистрации ТГц излучения (теплового) наносится слой висмута с подложкой из титаната стронция. Биметаллическая площадка 2 закреплена на подложке 1 с помощью опоры 4 в центре рамочного катода, состоящего из проводящей площадки 2, на верхней поверхности которой расположены вискеры 5.

Работа данного чувствительного элемента при регистрации терагерцового (теплового) излучения заключается в следующем. ТГц-излучение (тепловое излучение), попадая на чувствительную микробиметаллическую пластину, нагревает микробиметаллическую пластину. Микробиметаллическая площадка под действием тепловой энергии прогибается, изменяя зазор между нижней стороной пластины и катодом. Таким образом, изменение температуры чувствительного элемента НЭМИП-НТЭМП, обусловленное падающим ТГц-излучением, приводит к механическому перемещению чувствительного элемента (рис. 4, 5). Проведенные теоретические исследования позволили определить оптимальную форму чувствительного элемента в виде «грибка» с наноразмерными элементами: пиксель в виде биметаллического квадрата, расположенный на микроножке. На рис. 4 приведена схема положения чувствительного элемента площадки преобразователя при  $T > T_0$ . На рис. 5 показано положение чувствительного элемента площадки преобразователя при  $T < T_0$ . Изменение зазора приводит к изменению напряженности электрического поля и соответственно к изменению тока эмиссии.

Отличительной особенностью НЭМИП с АЭЭ является наличие автоэлектронного преобразователя. Основой работы НЭМИП с АЭЭ является изменение тока эмиссии  $i$  при изменении рабочего зазора. При этом тока эмиссии  $i$  будет пропорционален измеряемой физической величине

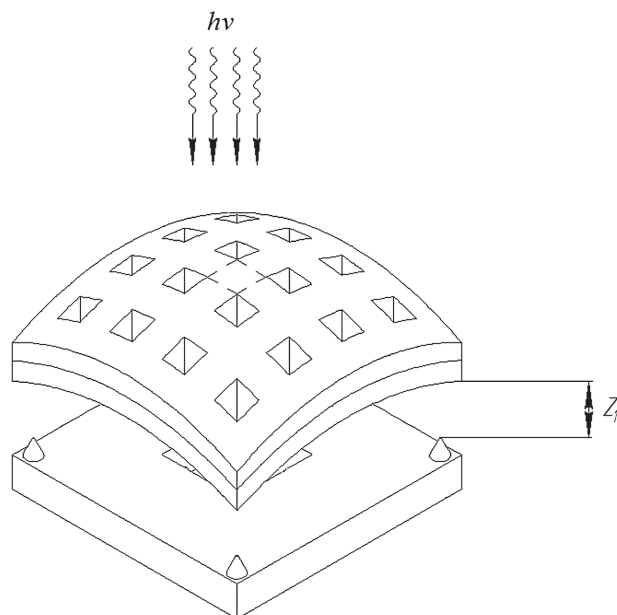


Рис. 4. Чувствительный элемент НЭМИП-НТЭМП (при  $T > T_0$ )

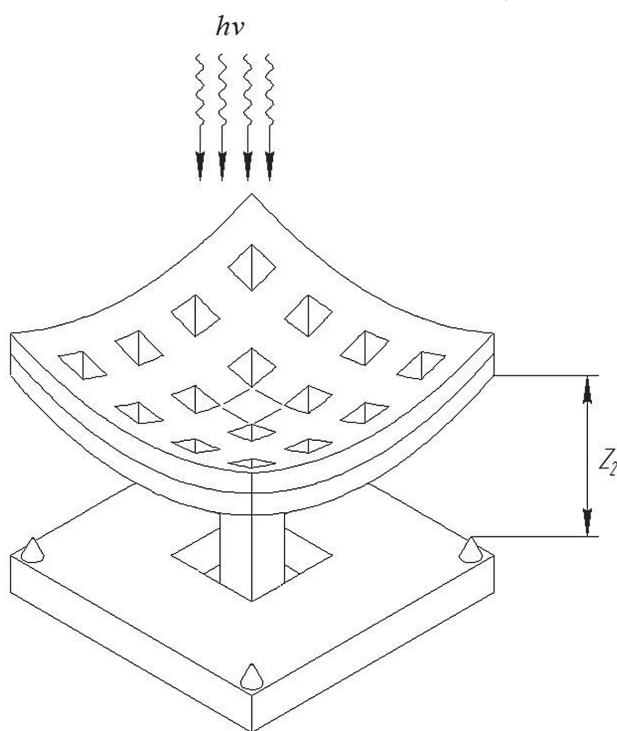


Рис. 5. Чувствительный элемент НЭМИП-НТЭМП (при  $T < T_0$ )

$$\begin{aligned} i_a &= K_a \dot{W} \\ i_r &= K_r \dot{\omega} \\ i_T &= K_T T, \end{aligned}$$

где  $K_a$ ,  $K_r$ ,  $K_T$  – коэффициенты преобразования (масштабные коэффициенты) акселерометра, гироскопа и термоэлектронного преобразователя, определяющиеся по формуле

$$\begin{aligned} K_a &= K_{MA} K_{ЭА} \\ K_r &= K_{MI} K_{ЭГ} \\ K_T &= K_{MT} K_{ЭТ} \end{aligned}$$

$\dot{W}$ ,  $\dot{\omega}$ ,  $T$  – измеряемые линейные ускорения, угловые скорости и температура соответственно;

$K_{MA}$ ,  $K_{MI}$ ,  $K_{MT}$  – коэффициенты преобразования измеряемых величин (ускорения, угловой скорости и температуры) в механическое перемещение;

$K_{ЭА}$ ,  $K_{ЭГ}$ ,  $K_{ЭТ}$  – коэффициенты преобразования механического перемещения консоли в ток эмиссии.

Для вакуумных наномеханических чувствительных структур ожидают сверхвысокое быстродействие, поскольку баллистический перенос электронов от катода к аноду допускает, в принципе, очень короткое время полета – менее одной пикосекунды ( $10^{-9}$ с), и быстродействие чувствительной структуры будет определяться только ее жесткостью.

На основе преобразователей линейных ускорений и угловой скорости возможно построение наномеханических акселерометров и гироскоп-акселерометров, а их миниатюрность и высокая точность обеспечивает им высокие конкурентные преимущества.

Преобразователи тепловых полей найдут широкое применение в инфракрасной технике, имея ряд серьезных преимуществ над микроболометрами – основными приемниками современных тепловизионных камер. Они имеют значительно большую устойчивость (практически не чувствительны) относительно воздействия окружающей среды (радиации и излучений всех видов). Шумовая составляющая чувствительных элементов с автоэлектронной

эмиссией практически в сто раз меньше шумов микроболометров. Все эти преимущества являются результатом того, что средой для переноса электронов в автоэлектронных системах является вакуум или инертный газ. В то время, как, например, такие широко применяемые материалы для микроболометров, как  $\alpha$ -Si, при температурах свыше  $150^\circ\text{C}$  и  $250^\circ\text{C}$  становятся проводниками. Вакуумные автоэлектронные чувствительные элементы значительно более устойчивы к электромагнитным возмущающим воздействиям из-за их более высокого уровня рабочих напряжений [4]. И практически не следует ожидать их повреждений от излучения пучков частиц.

В результате можно сделать вывод о больших перспективах использования наномеханических измерительных преобразователей с автоэлектронной эмиссией в составе систем управления движением и навигации.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта от 13 сентября 2011 г. № 16.523.12.3006.

### Библиографический список

1. Бедро, Н.А. Наномеханический акселерометр для систем управления движением и навигацией / Н.А. Бедро. // Сб. трудов XXII Всероссийской межвузовской научно-технической конференции «Электромеханические и внутрикамерные процессы в энергетических установках, струйная акустика и диагностика, приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», ч.1 – Казань, 2010. – С. 195–197.
2. Ачильдиев, В.М. Бесплатформенные инерциальные блоки на основе микромеханических датчиков угловой скорости и линейного ускорения. Монография / В.М. Ачильдиев. – М.: МГУЛ, 2007. – 223 с.
3. Ачильдиев, В.М. Микромеханические датчики и системы на их основе / В.М. Ачильдиев, Н.И. Кробка // Сб. трудов Китайско-Российского научно-технического симпозиума. – Пекин, 2005. – С. 139–152.
4. Добрецов, А.Н. Эмиссионная электроника / А.Н. Добрецов, М.В. Гомоюмова. – М.: Наука, 1966.

## УСТРОЙСТВО НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА

В.А. СОЛДАТЕНКОВ, *ген. директор ОАО «НПО Геофизика-НВ», д-р техн. наук,*  
 Ю.К. ГРУЗЕВИЧ, *зам. ген. директора по науке ОАО «НПО Геофизика-НВ», канд. тех. наук,*  
 А.Д. ЛЕВКОВИЧ, *вед. специалист ОАО «НПО Геофизика-НВ»*  
 Э.С. ЛИТВАК, *инженер ОАО «НПО Геофизика-НВ»*

*levzver@gmail.com, eleonorochka.s@gmail.com*

В разное время задача определения географических координат удаленного объекта решалась различными способами. Самым распространенным способом решения этой задачи является определение координат по карте местности, при этом азимут на объект наблюдения и дальность до него должны быть измерены заранее, а географически координаты считываются непосредственно с координатной сетки карты. Такая процедура довольно длительная и не поддается автоматизации. Современная геодезия решает эту задачу с помощью специального прибора тахеометра. Тахеометр — геодезический прибор для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов. Данный прибор используется, как правило, для вычисления координат и высот точек местности при топографической съемке местности, при разбивочных работах, переносе на местность высот и координат проектных точек. Недостатком тахеометра является то, что для точного отсчета углов требуется установка прибора строго в вертикальном положении, а это достаточно длительная процедура. Кроме того, данный прибор не может использоваться подвижным наблюдателем и, следовательно, при определении географических координат с подвижной платформы, например, с вертолета, тахеометр не используется. При создании наблюдательного устройства необходимо обеспечить определение в реальном времени углов ориентации оптической оси оптоэлектронного наблюдательного устройства сразу после измерения дальности до удаленного наблюдаемого объекта. Такие измерения должны осуществляться без формирования опорной горизонтальной плоскости, от которой отсчитываются углы в тахеометре.

В настоящее время, по нашим сведениям, отсутствуют малогабаритные наблю-

дательные оптоэлектронные приборы с возможностью определения в ручном режиме с вертолетов географических координат удаленных объектов и отображением их на фото и видео изображениях. Основной причиной этого является необходимость объединения в составе оптоэлектронного прибора нескольких отдельных устройств, что приводит к увеличению габаритов и массы прибора, а также высокой его стоимости. В то же время такие приборы необходимы при охране национальных биологических ресурсов, обнаружения пострадавших в стихийных бедствиях, автоматизированной фиксации несанкционированного пребывания объекта в заданной области пространства и выполнения других задач.

Координаты удаленного объекта определяются на основе дальности до объекта, измеряемой входящим в состав прибора лазерным дальномером, измеренным угловым координатам объекта и известным географическим координатам наблюдателя.

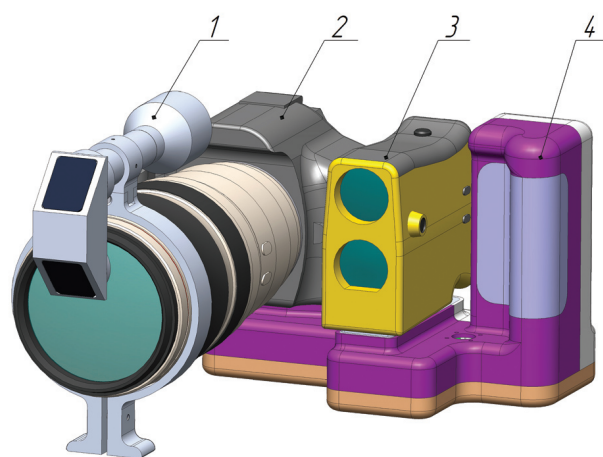


Рис. 1. Модель оптоэлектронного прибора. 1 – коллимирующий оптический модуль, 2 – цифровой фотоаппарат, 3 – лазерный дальномер, 4 – модуль обработки

Обработку информации и определение географических координат удаленного объекта осуществляет модуль обработки информации. В состав модуля обработки входит приемник сигналов спутниковой навигации Глонасс/GPS, программируемая логическая интегральная микросхема, на базе которой разработана система на кристалле (СнК). В состав СнК входит soft-процессор MicroBlaze, видеоконтроллер, а также необходимая периферия и межкомпонентные интерфейсы.

Дальномер содержит датчик угла места, определяющий склонение оптической оси прибора относительно плоскости горизонта.

Испытания, проведенные ОАО «НПО Геофизика–НВ» в 2009–2010 гг. подтвердили, что современные трехосные магнитометры из-за влияния внешних магнитных полей не позволяют определить азимут на объект наблюдения с необходимой точностью. В связи с этим был разработан алгоритм, позволяющий определять координаты объекта при выполнении измерения дальности до него с трех различных точек [2]. При этом нет необходимости измерять азимут на объект наблюдения.

Трехмерная модель малогабаритного наблюдательного оптико-электронного прибора приведена на рис. 1.

### Оптическая схема оптико-электронного прибора

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к документированию изображений несанкционированных пребываний объектов, необходимо обеспечить оптическое проецирование координатной информации, а также даты и времени съемки на изображение удаленных объектов, т.к. при регистрации фактов нарушения административных и государственных границ недопустим цифровой синтез изображений объектов с его географическими координатами и другой символьной информацией. Поэтому координатную и другую символьную информацию, рассчитанную модулем обработки информации и сформированную на матричном экране микродисплея, необходимо спроецировать оптическим коллимирующим модулем на матрицу фотоаппарата или видеокамеры во время

съемки удаленных объектов. Для формирования алфавитно-цифровой информации, занимающей 40 символов на двух строчках при размере символа не менее 8 на 16 пикселей, целесообразно использовать микродисплей типа «TekGear RS170 OEM».

Координатная информация должна быть спроецирована на изображении объекта сразу во время съемки объекта до регистрации его изображения, поэтому координаты объекта должны быть вычислены и изображение с координатной информацией сформировано на микродисплее до срабатывания затвора фотоаппарата. При этом, поскольку объект находится в бесконечности, фокусироваться на объекте не требуется.

Коллимирующий оптический модуль должен располагаться таким образом, чтобы не мешать работе оператора, поэтому наиболее рациональным его размещением является размещение над объективом (рис. 1), т.к. обычно при работе оператора с длиннофокусным объективом последний поддерживается снизу.

На рис. 2 приведена оптическая схема оптико-электронного прибора.

Коллимирующий модуль должен быть рассчитан таким образом, чтобы горизонтальный размер микродисплея проецировался на горизонтальный размер матрицы фотоаппарата. Рассчитаем требуемое увеличение и фокусное расстояние коллимирующего модуля применительно к объективу с фокусным расстоянием  $f^* = 400$  мм. Если фокусное расстояние будет меняться, то размер зоны вывода координатной информации в кадре будет уменьшаться пропорционально уменьшению фокусного расстояния. При этом проецируемые символы будут различаться, т.к. пространственное разрешение матрицы фотоаппарата в несколько раз превышает пространственное разрешение матричного экрана микродисплея.

Увеличение оптической системы «объектив прибора–коллимирующий модуль» составит  $\Gamma = a/b = 22,3/4,8 = 4,64$ , где  $a = 22,3$  мм – размер горизонтальной стороны матрицы фотоаппарата,  $b = 4,8$  – размер длинной стороны экрана 11 микродисплея. Тогда фо-

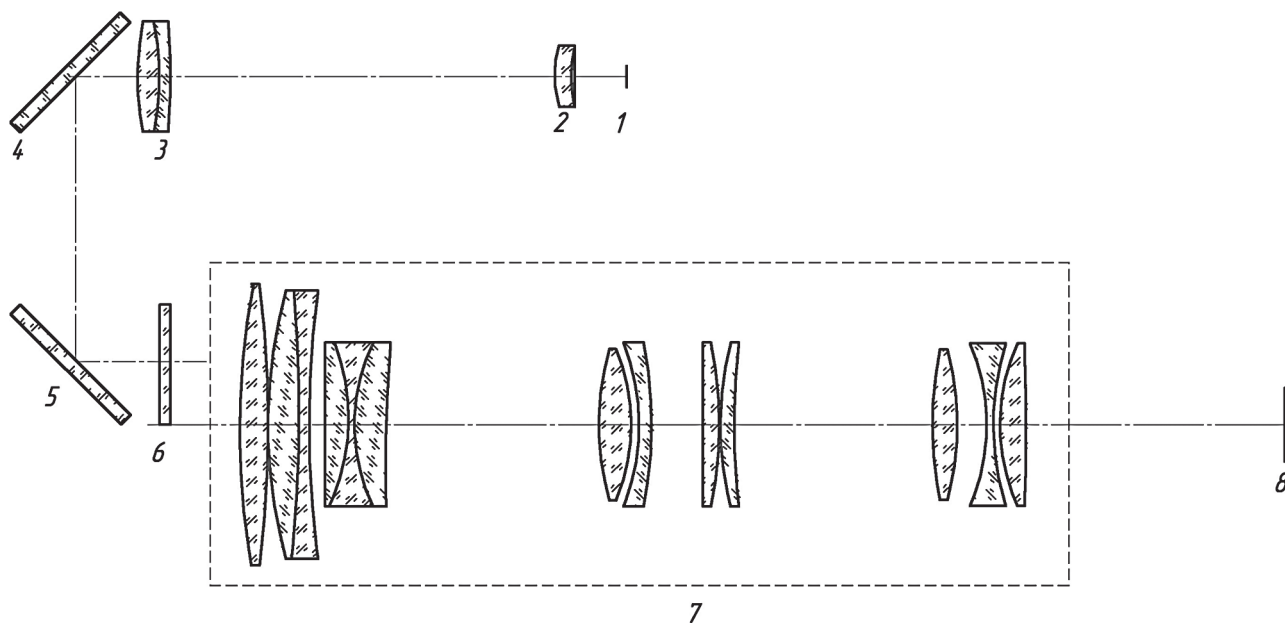


Рис. 2. Оптическая схема опто-электронного прибора. 1 – экран микродисплея, 2 – линза–мечник, 3 – двухлинзовый объектив, 4, 5 – зеркала, 6 – защитное стекло, 7 – объектив фотоаппарата, 8 – фоточувствительная матрица

кусное расстояние модуля равно  $f = f_{об} / \Gamma = 400/4,64 = 86$  мм, где  $f$  – фокусное расстояние модуля.

Максимальный угол, под которым лучи выходят из коллимирующего модуля будет равен  $\text{tg}\alpha = (b^2+c^2)^{1/2}/(2f) = (4,8^2+3,6^2)/172 = 0,03488$  рад., где  $b$  и  $c$  – размеры активной области микродисплея. Переводя это значение в градусы, получим  $\alpha = 2^\circ$ .

Требуемое фокусное расстояние составляет 86 мм, а длина объектива в сложенном состоянии составляет 190 мм, поэтому габариты модуля позволяют разместить его сверху, над объективом.

Поскольку цвет изображения символической информации зависит от цвета подсвечивающего светодиода, коллимирующий модуль должен быть ахроматизирован. Вначале мы синтезировали двухлинзовый склеенный объектив. В целях снижения стоимости производства радиусы двояковыпуклой первой линзы сделаем равными. В качестве марок стекол выберем К8 и ТФ5, являющихся ахроматической парой. По программе расчета оптических систем «Zemax» рассчитаны конструктивные параметры объектива коллимирующего модуля. В качестве критерия оптимизации использовалась минимизация среднего квадратического отклонения волно-

вого фронта в узлах гауссовой квадратуры, имеющей 3 кольца и 6 лучей. При расчетах было задано фокусное расстояние объектива, равное 86 мм.

### Алгоритм работы опто-электронного прибора

Для создания малогабаритного опто-электронного прибора регистрации изображений удаленных объектов с высокоточным определением его географических координат необходимо обеспечить измерение дальности и угловых координат удаленных объектов с помощью малогабаритных дальномеров и датчиков углов азимута и места. Отсутствие высокоточных малогабаритных датчиков углов азимута, обеспечивающих измерение азимута с точностью менее 30 угловых минут, потребовало разработки алгоритма расчета географических координат удаленных объектов по результатам высокоточных измерений из различных точек наблюдения дальностей и углов места до удаленного объекта. На рис. 3 приведена схема, поясняющая разработанный алгоритм.

В соответствии с разработанным алгоритмом оператором из трех или более точек наблюдения с помощью лазерного дальномера измеряется дальность до удаленного объекта,

а датчиком угла – его угол места. При каждом измерении дальности до объекта при новом положении оператора становятся известны параметры окружности, центром которой является положение оператора, а радиус равен проекции наклонной дальности (рис. 3). По измеренным дальностям определяются координаты точек пересечения окружностей. При получении более двух точек пересечения необходимо определить условие однозначности определения группы точек пересечения окружностей. С этой целью необходимо определить угол между прямыми, соединяющими 3 точки, не лежащие на одной прямой, а затем сравнить величину угла с его пороговым значением. Экспериментально определено пороговое значение, которое равно  $10^\circ$ . Кроме этого установлено, что расстояние между точками пересечения не должно быть менее порогового значения, равного 200 м. Если оба условия выполняются, то координаты удаленного объекта определяются как среднее значение группы точек пересечения, в которой расположен объект. На данном этапе вычисляются координаты удаленного объекта в декартовой системе координат, начало которой расположено в точке А с географическими координатами  $(\lambda_0, \varphi_0, H_0)$  (рис. 3), где обозначены:  $\lambda_0$  – долгота,  $\varphi_0$  – широта и  $h_0$  – высота над поверхностью Земли.

Для вычисления географических координат объекта необходимо предварительно определить декартовы координаты точек пересечения трех окружностей. В соответствии

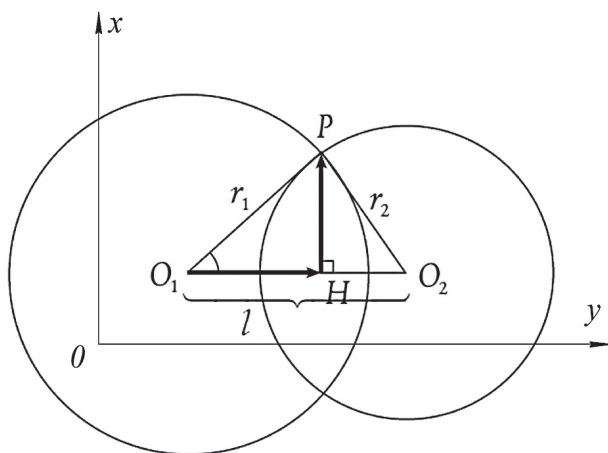


Рис. 3. Схема алгоритма работы оптико-электронного прибора

с разработанным алгоритмом в результате трех измерений дальности получается шесть точек пересечений трех окружностей, которые можно разделить на две группы. Из двух групп точек выбирается такая группа, в которой расстояния между точками пересечений минимально.

Вычисление координат точек пересечения окружностей целесообразно проводить в декартовой системе координат. В качестве начала координат данной системы выберем точку А с географическими координатами:  $\varphi_a, \lambda_a, H_a$  (рис. 3). Декартовы координаты других точек, из которых производится измерение дальности до объекта, с географическими координатами  $(\varphi_i, \lambda_i, H_i)$  вычисляются по формулам

$$x_i = \begin{cases} \sqrt{2((R_3 + H_A) \cos(\varphi_0))^2 (1 - \cos(\delta\lambda))} & \text{если } \delta\lambda \geq 0 \\ -\sqrt{2((R_3 + H_A) \cos(\varphi_0))^2 (1 - \cos(\delta\lambda))} & \text{если } \delta\lambda < 0 \end{cases}$$

$$y_i = \begin{cases} \sqrt{2(R_3 + H_A)^2 (1 - \cos(\delta\varphi))} & \text{если } \delta\varphi \geq 0 \\ -\sqrt{2(R_3 + H_A)^2 (1 - \cos(\delta\varphi))} & \text{если } \delta\varphi < 0 \end{cases}$$

Таким образом, если заданы декартовы координаты центров окружностей  $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$  и их радиуса  $r_1, r_2$ , то чтобы найти координаты точек их пересечения необходимо выполнить следующие действия (рис. 4) [3].

1. Вычислить расстояние между центрами окружностей по формуле

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

2. Найти длину отрезка  $O_1H$  по формуле

$$O_1H = \frac{r_1^2 + l^2 - r_2^2}{2l}$$

3. Найти длину отрезка  $HP$  по формуле

$$HP = \sqrt{r_1^2 - O_1H^2}$$

4. Определить направление отсчета

$$\theta = \begin{cases} 1 & \text{если } (x_2 - x_1) \geq 0 \\ -1 & \text{если } (x_2 - x_1) < 0 \end{cases}$$

5. Определить корднты точки пересечения окружностей по формулам

$$\begin{aligned} x_i &= x_1 + O_1 H \cos(\alpha)\theta, \\ y_i &= y_1 + O_1 H \sin(\alpha)\theta \end{aligned}$$

$$\alpha = \begin{cases} \arctan((y_1 - y_2)/(x_1 - x_2)) \\ \text{если } x_1 - x_2 \neq 0 \\ \pi/2 \text{ если } x_1 - x_2 = 0, \end{cases}$$

6. Вычислить координаты точек пересечения окружностей вычисляются по формулам

– если  $(x_1 - x_2) = 0$ , то координаты точек пересечения окружностей вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} x^1 &= x_i - HP \\ x^2 &= x_i + HP \\ y^1 &= y_i + O_1 H \\ y^2 &= y_i + O_1 H \end{aligned}$$

– если  $(y_1 - y_2) = 0$ , то координаты точек пересечения окружностей вычисляются по формулам

$$\begin{aligned} x^1 &= x_i \\ x^2 &= x_i \end{aligned}$$

$$y^1 = y_i + HP$$

$$y^2 = y_i - HP$$

7. Если  $(x_1 - x_2) \neq 0$  и  $(y_1 - y_2) \neq 0$ , то координаты точек пересечения окружностей вычисляются по формулам

$$x^1 = x_i + \cos(\beta) \cdot HP$$

$$x^2 = x_i - \cos(\beta) \cdot HP$$

$$y^1 = y_i + \sin(\beta) \cdot HP$$

$$y^2 = y_i - \sin(\beta) \cdot HP,$$

где верхним индексом обозначен номер группы точек, а угол  $\beta$  вычисляется по формуле

$$\beta = \arctan(-(x_1 - x_2)/(y_1 - y_2)).$$

При наличии трех и более точек измерений необходимо найти точки их пересечения и определить группу точек, к которой принадлежит объект. Для этого необходимо вычислить расстояние между точками, принадлежащими разным группам. Объект принимается принадлежащим той группе, в которой расстояние между точками минимально.

Преобразование декартовых координат в сферические выполняется в следующей последовательности. Вначале определяется

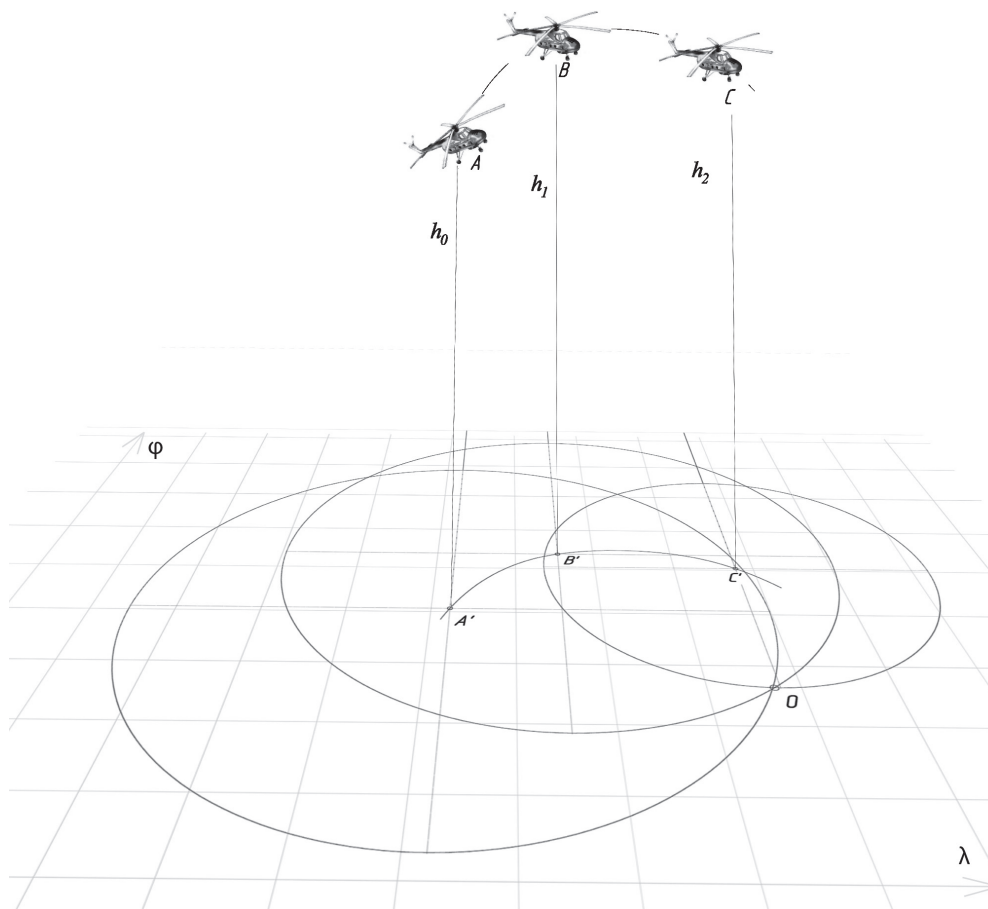


Рис. 4. К вычислению координат точек пересечения окружностей

магнитный азимут  $\psi$  по известным координатам  $x$  и  $y$  по формуле

$$\psi = \begin{cases} \arctg(x/y), & \text{если } x \geq 0 \text{ и } y > 0 \\ \pi/2 + \arctg(y/x), & \text{если } x > 0 \text{ и } y \leq 0 \\ \pi + \arctg(x/y), & \text{если } x < 0 \text{ и } y < 0 \\ 3\pi/2 + \arctg(y/x), & \text{если } x < 0 \text{ и } y > 0 \end{cases}$$

где  $x$  и  $y$  – декартовы координаты объекта.

Далее вычисляются приращения широты и долготы

$$d\varphi = \arccos \left( 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{l \cos(\psi)}{R_3 + H_A} \right)^2 \right)$$

$$d\lambda = \arccos \left( 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{l \cos(\psi)}{(R_3 + H_A) \cos(\varphi_0)} \right)^2 \right)$$

В зависимости от знака приращений  $d\varphi$  и  $d\lambda$ , широта и долгота объекта вычисляются по формулам

$$\varphi = \begin{cases} \varphi_0 + d\varphi \text{ при } (90 \geq \psi \geq 0) \\ \varphi_0 - d\varphi \text{ при } (270 \geq \psi > 360) \\ \varphi_0 - d\varphi \text{ при } (180 \geq \psi > 270) \end{cases}$$

$$\lambda = \begin{cases} \lambda_0 + d\lambda \text{ при } 180 \geq \lambda \geq 0 \\ \lambda_0 - d\lambda \text{ при } 180 > \lambda \geq 360 \end{cases}$$

Особенностью используемого дальномера является его способность измерять дальность до объекта в течение промежутка времени до 10 секунд. После окончания измерения дальномер посылает пакет данных с информацией об измеренной дальности в модуль обработки информации. В этом пакете содержится и значение проекции наклонной дальности. Географическими координатами наблюдателя считаются обработанные на момент поступления пакета от дальномера данные от приемника СНС. Таким образом, необходимо вычислить координаты точек пересечения окружностей. В случае если количество точек превышает три, требуется вычислить средние значения координат этих точек и преобразовать их в географическую систему координат. После этого формируется изображение координатной информации на микродисплее. При этом съемка объекта может проводиться и до вычисления координат объекта.

После вычисления декартовых координат объекта происходит преобразование

координат в географические и формирование на микродисплее координатной информации. После этого активизируется затвор фотоаппарата и происходит съемка объекта. Во время срабатывания затвора оператор не должен смещать перекрестие прицельной метки дальномера с объекта.

Объединение в составе прибора лазерного дальномера с инерциальными датчиками спутниковой навигационной системы позволяет определить положение оптической оси в пространстве, что при известной дальности до объекта и известных географических координатах наблюдателя позволяет вычислить географические координаты наблюдаемого объекта.

В результате практической реализации предложенного способа определения географических координат был разработан принципиально новый класс оптико-электронных устройств, предназначенных для регистрации изображения удаленных объектов с автоматизированным определением и документированием их географических координат, даты, времени, дальности и другой необходимой информации.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта от 13 сентября 2011 г. № 16.523.12.3006.

### Библиографический список

1. Солдатенков, В.А. Системы позиционирования для оптико-электронных систем наблюдения и ориентации / В.А. Солдатенков, Ю.К. Грузевич, В.М. Ачильдиев, А.Д. Левкович и др. // Вестник МГУЛ. – М.: МГУЛ, 2009. – № 6. – С. 52–57.
2. Солдатенков, В.А. Оптико-электронный прибор для определения географических координат удаленного объекта с комплексированной микромеханической бесплатформенной навигационной системой / В.А. Солдатенков, Ю.К. Грузевич, В.М. Ачильдиев, А.Д. Левкович и др. // Сб. трудов XVII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам, – СПб: ЦНИИ «Электроприбор», 2010. – С. 269–276
3. Андреева, Е.В. Вычислительная геометрия на плоскости / Е.В. Андреева, Ю.Е. Егоров. – М.: Информатика, 2002. – № 14.



## МОДУЛЬ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ И ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА

Э.С. ЛИТВАК, инженер ОАО «НПО Геофизика-НВ»,  
 А.Ю. ПОПОВ, доц. МГТУ им. Баумана, вед. спец. ОАО «НПО Геофизика-НВ», канд. техн. наук,  
 А.Д. ЛЕВКОВИЧ, вед. спец. ОАО «НПО Геофизика-НВ»

eleonorochka.s@gmail.com

Модуль обработки информации с навигационной системы и лазерного дальномера позволяет вычислять географические координаты удаленного объекта и входит в состав оптико-электронного устройства для наблюдения и регистрации изображения удаленного объекта (ОЭУН). Алгоритм работы модуля реализуется на основе микропроцессорной системы на базе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Модуль осуществляет сбор, обработку, хранение и выдачу информации о положении прибора и наблюдаемого объекта, и обладает малыми габаритами.

Место модуля обработки информации показано на структурной схеме прибора, которая представлена на рис. 1.

Отличительной особенностью прибора является фиксация данных (координат объекта и наблюдателя) с последующим проецированием их изображения, сформированного на экране микродисплея, на изображение объекта наблюдения [1].

Нажатие кнопки спуска на ОЭУН инициирует фиксацию информации, отображенной на экране микродисплея, на некоторый интервал времени, превышающий время экспозиции фотоаппарата. За этот промежуток на фотоаппарат посылается сигнал активизации затвора, раскрытие которого приводит к проецированию на фоточувствительную матрицу изображений объекта и географических координат и другой служебной информации с экрана микродисплея.

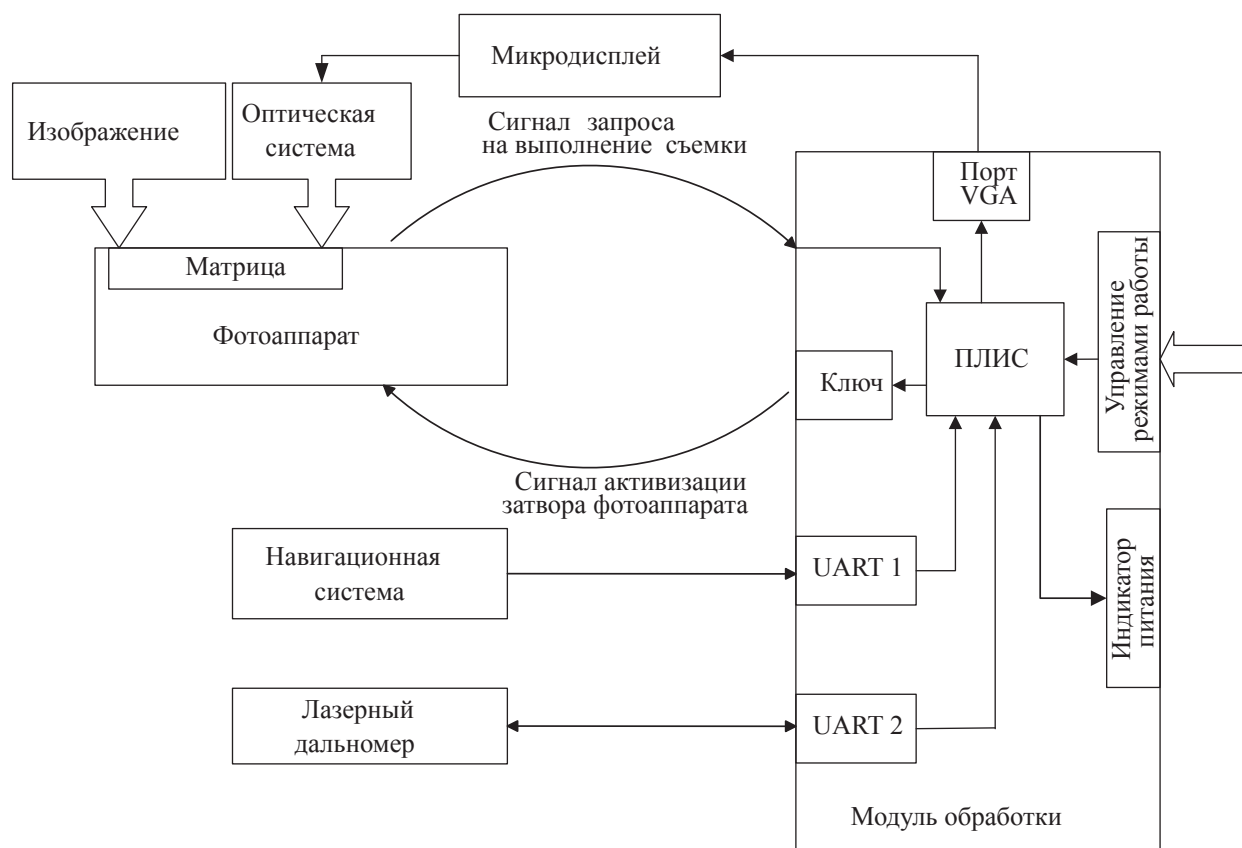


Рис. 1. Структурная схема ОЭУН с фотоаппаратом

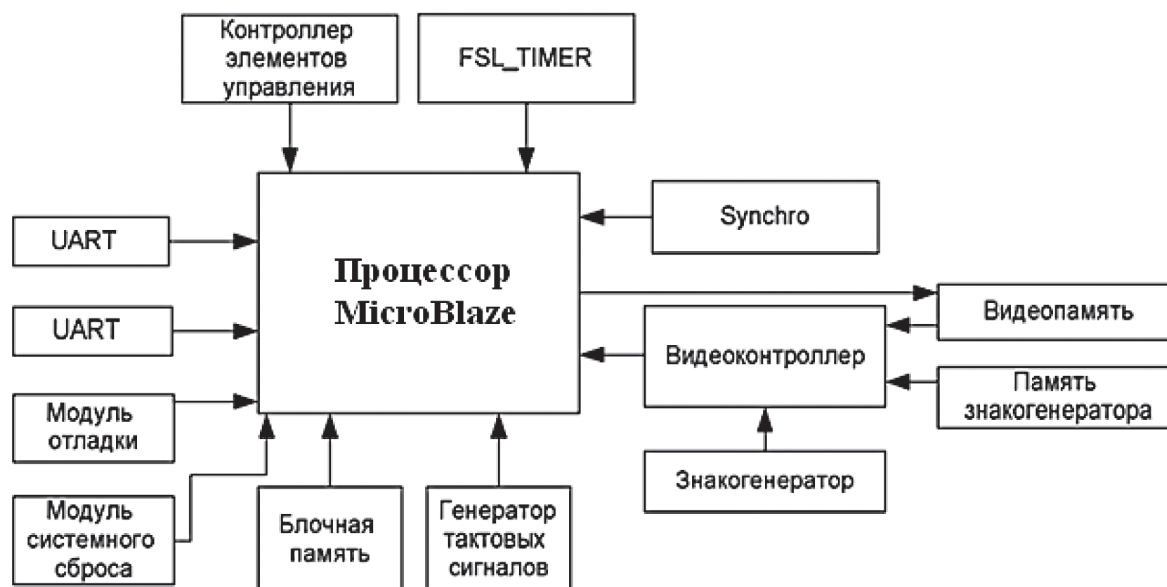


Рис. 2. Структурная схема ядра

В состав модуля обработки (МО) входит ПЛИС фирмы Xilinx XC3S500E (эквивалентная логическая емкость – 10К, объем блочной памяти – 360К), флэш-память XCF04S объемом 4 Мбит, 2 трансивера фирмы Maxim MAX3232, кварцевый генератор фирмы Epson на 50 МГц. Программирование платы осуществляется через интерфейс JTAG [3].

Реализация проекта на ПЛИС дает возможности гибкого изменения архитектуры системы, выделения ресурсов тем или иным модулям.

В задачи МО входят:

- прием и обработка данных от навигационной системы, лазерного дальномера;
- формирование видеосигнала в формате VGA, выдающего символьную информацию о положении объекта наблюдения, дату и время наблюдения, а также координаты наблюдателя на экране микродисплея;
- прием сигнала запроса на выполнение момента съемки от фотоаппарата;
- фиксация выходного изображения и отправка сигнала активизации затвора фотоаппарата.

Проект был выполнен в САПР Xilinx ISE, Xilinx EDK(SDK) v. 10.1 на языках VHDL, Verilog, C.

Структурная схема ядра представлена на рис. 2.

Ядро системы включает набор связанных IP-модулей: микропроцессор MicroBlaze, блочная память BRAM, контроллер блочной памяти ПЛИС, видеоконтроллер, контроллеры шин передачи данных (PLB, LMB, FSL), интерфейсы передачи данных (UART), тактовый генератор, пользовательский таймер сигналов FSL\_TIMER, модуль отладки и системного сброса.

Компонент MicroBlaze представляет собой встроенное ядро на базе soft-процессора MicroBlaze®, сконфигурированное в Xilinx EDK/SDK [4].

Контроллеры UART принимают пакеты данных от навигационной системы и лазерного дальномера.

Синхронизация МО и микродисплея осуществляется компонентом Synchro, отвечающим за развертку видеосигнала. Счетчики intVcnt и intHcnt пробегают соответственно значения от 0 до (521–1) и от 0 до (800–1) с частотой 25 МГц. Компонент Synchro формирует сигналы вертикальной и горизонтальной развертки Hsync и Vsync в соответствии с требованиями стандарта VGA.

Для вывода графической информации разработан видеоконтроллер. Размеры знакоместа приняты 8×16 px. При этом на экране можно разместить 480/16=30 строк по 640/8=80 символов в каждой. Организованы две области оперативной памяти – одна для хранения сим-

0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
1	1	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

RAM0 - 32'h06666666EE6CCCC  
 а) RAM1 - 32'h0CCCCCFFC666631

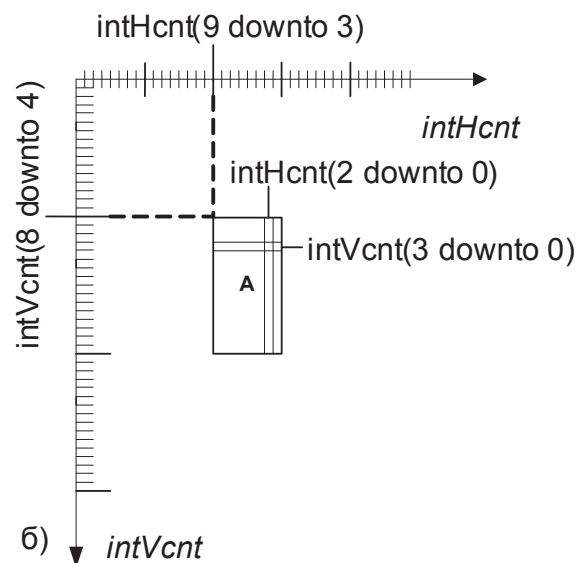


Рис. 3. а) Кодирование символа; б) Адресация символа «А»

волов алфавита (Component Char\_Gen\_RAM), а другая – видеопамять – для хранения текущего состояния экрана, т.е. выводимых данных (Component Video\_RAM).

Для первой области в HDL-библиотеке было выбрано 2 блока памяти RAMB16\_S4 (обозначены RAM0 и RAM1) – синхронная RAM с 12-битной шиной адреса и 4-битной шиной данных. Первые 8 бит адреса определяют код символа (возможно до 256 различных знаков), а остальные 4 – номер строки в развертке символа. Любой знак (рис. 3а) кодируется в памяти двумя последовательностями шестнадцатеричных чисел. Область видеопамати использует 2 блока памяти RAMB16\_S4\_S4 – синхронная двухпортовая RAM с 12-битной шиной адреса и 4-битными шинами данных. Один порт предназначен для записи символов из рабочей программы в память, а второй – для чтения символов из памяти и вывода на дисплей. Адресация матрицы пикселей 640×480 требует 10 бит по горизонтали и 9 бит по вертикали. С учетом размеров символа (8×16) для адресации символа достаточно 7 и 5 (в сумме 12) старших битов (рис. 3б).

Таким образом, по адресу  $\text{intHcnt}(9 \text{ downto } 3) \& \text{intVcnt}(8 \text{ downto } 4)$  достаточно хранить 8-битный код символа.

Опрос навигационной системы и лазерного дальномера производится циклически

по сигналу от таймера FSL\_TIMER. После обработки пришедших данных программа переходит в состояние ожидания нового пакета.

На рис. 4. приведена фотография модуля обработки (сторона А), а на рис. 5 – фотография модуля обработки (сторона Б).

МО реализует, помимо управляющей функции в приборе, два основных алгоритма вычисления координат объекта наблюдения – по однократному и многократным (от трех и более) сигналам съема.

В первом случае координаты объекта вычисляются по полученным от прибора координатам наблюдателя (широта, долгота, высота), дальности до объекта и углу курса (угол между направлением на северный полюс и направлением на объект) [1].

Во втором случае наблюдатель движется (к примеру на вертолете) вокруг объекта и осуществляет съемку с нескольких позиций. Вычисление положения объекта по данным с нескольких точек уточняет его координаты. Метод вычисления координат по нескольким точкам основывается на построении окружностей для каждого измерения – проекций на плоскость OXY, центром которых является наблюдатель, а радиусом – проекция дальности до объекта [2].

Рассмотренный в статье модуль обработки информации позволяет решать задачу

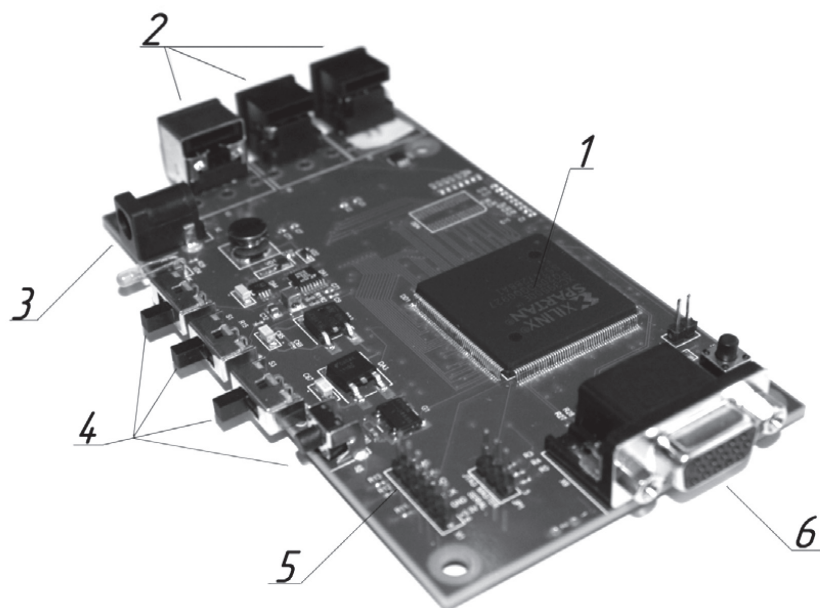


Рис. 4. Фотография модуля обработки (сторона А). Тип платы – МПП: 1 – ПЛИС Xilinx XC3S500E; 2 – разъемы подключения дальномера, навигационной системы, управления затвором фотоаппарата; 3 – разъем питания; 4 – органы управления ОЭУН; 5 – разъем программирования ПЛИС JTAG; 6 – разъем подключения микродисплея VGA

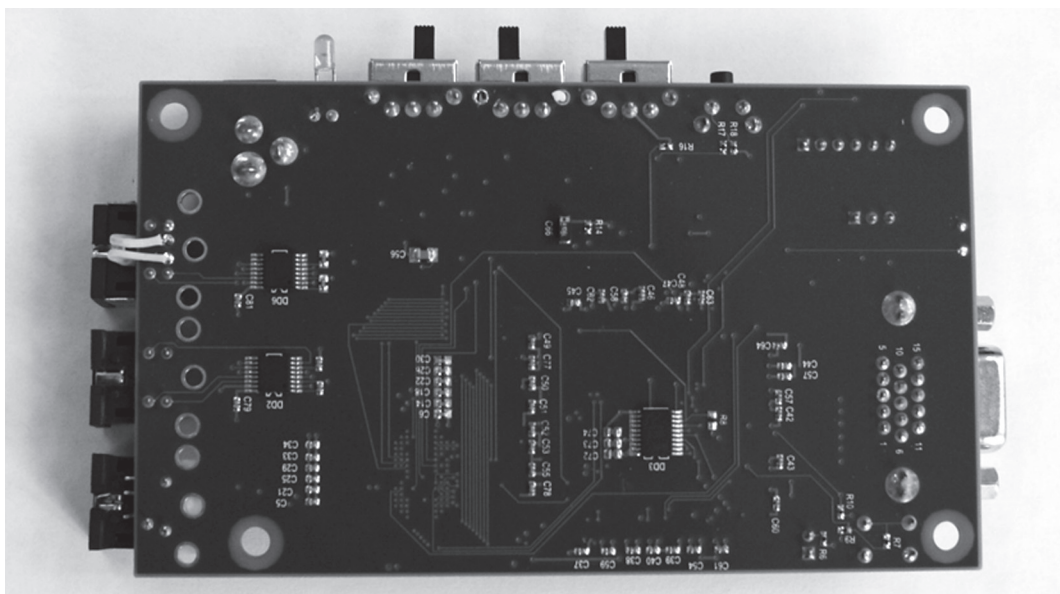


Рис. 5. Фотография модуля обработки (сторона Б)

определения географических координат удаленного объекта и выдачу информации в графическом виде в формате VGA. Гибкая архитектура системы на кристалле позволяет в дальнейшем использовать разработанный модуль в составе приборных комплексов различного назначения.

Сложные математические вычисления, типы данных, многочисленные переменные формата с плавающей запятой стали причиной значительного повышения размеров про-

граммы, что привело к предельному использованию ресурсов ПЛИС Xilinx XC3S500E. Следующая версия модуля обработки будет учитывать такие объемы вычислений.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного контракта от 13 сентября 2011 г. № 16.523.12.3006.

### Библиографический список

1. Солдатенков, В.А. Системы позиционирования для оптико-электронных систем наблюдения и ориентации / В.А. Солдатенков, Ю.К. Грузевич, В.М. Ачильдиев, В.В. Поздняков и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – М.: МГУЛ, 2009. – № 6. – С. 52–57.
2. Левкович, А.Д. Оптико-электронный прибор для определения географических координат удаленно-го объекта с комплексированной микромеханической бесплатформенной навигационной системой / А.Д. Левкович, В.М. Ачильдиев, Ю.К. Грузевич и др. // Сб. трудов XVII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. – СПб: ЦНИИ «Электроприбор», 2010. – С. 269–276.
3. Spartan-3E FPGA Family: Data sheet – Xilinx®, 2009. – 233 С.
4. Embedded System Tools Reference Manual – Xilinx®, 2009. – 294 С.

## РАСПОЗНАВАНИЕ КРОН ДЕРЕВЬЕВ НА СНИМКАХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

М.А. ГРУШИН, *асп. каф. прикладной математики и математического моделирования МГУЛ*

*hymorist@gmail.com*

Одной из сложных и важных задач при организации системного мониторинга лесных экосистем является обработка снимков высокого разрешения с целью выявления местоположения отдельных деревьев и их подсчета. Современные методы распознавания кроны отдельных деревьев часто дают неточные результаты.

В данной статье был проанализирован прямой метод анализа изображения и предложено несколько методов усовершенствования алгоритма распознавания кроны деревьев со снимков высокого разрешения.

### Краткое описание модели

Рассматриваемый подход предназначен для определения точного местоположения отдельных деревьев на снимках. Прямой метод анализа представляет собой нахождение локальных максимумов коррелирующей функции, которая применяет шаблоны, созданные на основе кроны дерева, ко всему изображению.

Основными элементами модели являются крона дерева, земля (земная поверхность), источники света (солнце и небо) и камера.

При построении модели в рассмотрение берутся только два источника света: солнце и (ясное) небо. Солнце смоделировано как коллимированный пучок света. Положение солнца рассчитано относительно даты снимка. Ясное небо смоделировано некото-

рым числом дискретных коллимированных лучей света, равномерно распределенных на небосводе. Для расчетов используется неоднородное распределение, и что более важно, во внимание не берутся тени от близстоящих деревьев.

Используемая камера – стеноп. Ее местоположение, разрешение и направление оптической оси – вычислены из параметров рис. 1.

Стандартная форма кроны дерева смоделирована в декартовых координатах  $(x, y, z)$  как эллипсоид с поверхностью

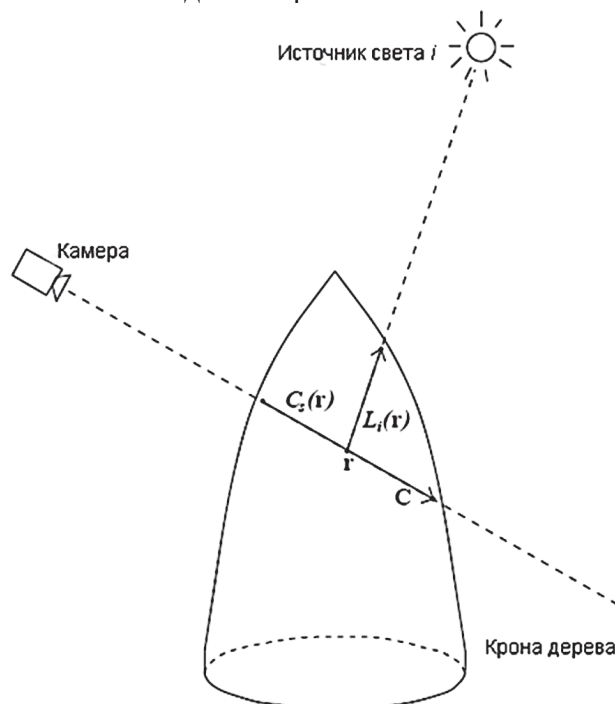


Рис. 1. Оптическая модель шаблона кроны дерева

$$\frac{(z^2)^{\frac{n}{2}}}{a^2} + \frac{(x^2 + y^2)^{\frac{n}{2}}}{b^n} = 1,$$

где  $z$  – это вертикальная ось, центр кроны дерева;

$a$  – половина высоты кроны;

$b$  – половина ширины;

$n$  – это параметр фигуры.

Для  $n=1$  крона состоит из двух конусов, объединенных в основании, для  $n = 2$  крона представляет собой обычный эллипсоид (сфера где  $a = b$ ), для возрастающих значений  $n > 2$  форма стремится к цилиндру, и для  $n \rightarrow 0$  крона становится более вогнутой и стремится к диску в плоскости  $x - y$  с вершиной по оси  $Z$  (для моделирования кроны дерева используется значение  $n \geq 1$ ).

Предполагается, что листва дерева состоит из беспорядочно ориентированных поверхностей. Их плотность в пределах кроны дерева предполагается пропорциональной функции  $f(r) \geq 0$ ,  $r = (x, y, z)$ , что луч света, проходящий через листву, пройдет практически неискаженным с вероятностью

$$p_{tr}(L) = \exp\left(-\int_L f(r) dt\right)$$

(Закон Бира-Ламберта). Интеграл берется по  $L$  луча, проходящего через листву,  $r = r(t)$ . Иначе свет будет или поглощен, с вероятностью  $p_{abs}$ , или изотропично отражен, с вероятностью  $1 - p_{abs}$ .

Если  $C$  – направление луча от камеры через крону дерева, и  $p_i$  – сила за единицу площади, перпендикулярная направлению светового источника  $i$ , тогда сила за единицу площади  $P(C)$  отраженного света от кроны дерева в направлении камеры

$$P(C) = \sum_{i \in \text{lights}} (1 - p_{abs}) P_i R(i, C) K_{refl},$$

$$P(i, C) = \int p_{tr}(C_s(r)) p_{tr}(L_i(r)) f(r) \left| \frac{dr}{dt} \right| dt,$$

где константа, дающая пропорции общего отраженного света, идущего в камеру,  $C_s(r)$  является лучом направленным в камеру из точки  $r = r(t)$ , и  $L_i(r)$  есть луч, проходящий через крону дерева из  $r$  по направлению к источнику света  $i$ .

Земля смоделирована как горизонтальная поверхность, которая поглощает и отражает свет.

Для создания рефлексов используется функция Миннарта [5], где сила  $P_g$  отраженного света в сторону камеры может быть вычислена из угла  $\theta_i$  света от источника света  $i$  и угла  $\theta_c$  от отраженного света в камеру

$$P_g(i) = P_i \rho \frac{k+1}{2\pi} \cos^k(\theta_i) \cos^{k-1}(\theta_c)$$

где  $\rho$  отражающий фактор и  $0 \leq k \leq 1$  является константой, характеризующей поверхность.

Задний фон для шаблона сделан однородным. Задний фон для настоящей кроны дерева состоит из близстоящих деревьев, частично из света и частично из тени. Земная поверхность позволяет смоделированной кроне дерева отбрасывать тень. Отражающий фактор  $\rho$  должен быть выбран для отображения интенсивности отражающего света от земли.

### Описание прямого алгоритма распознавания

Алгоритм применяется для нахождения вершущек деревьев одновозрастного лесного массива с фотографии наземной съемки. Положение и ориентация камеры относительно массива должна быть известна. Также необходима аппроксимация высоты и формы кроны дерева.

Для каждой вершущки дерева создается свой макет. Для изображений съемки с близкого расстояния необходимо создание нескольких макетов для различных позиций массивов. Идеальной моделью будет создание различных шаблонов для каждого пикселя. Шаблон располагается на вершущке кроны дерева и имеет радиус, зависящий от других, видимых на снимке, вершущек деревьев – в целом это зависит от угла просмотра, формы кроны и плотности лесного массива. Для каждого пикселя снимка, в пределах лесного массива, вычисляется корреляция между шаблоном и той областью, что вокруг пикселя. Положительные локальные максимумы результирующей корреляции изображения соотносятся с позициями, которые как можно более точно приближены к шаблону и могут быть претендентами для позиций вершин.

Рядом с некоторыми верхушками деревьев может быть несколько максимумов, расположенных близко друг к другу. Также надо учитывать, что некоторые максимумы могут относиться к огромным веткам или артефактам на снимке, которые возникают из-за переплетения крон деревьев или различных вариаций интенсивности изображения в затемненных местах изображения, где контрастность очень низка. Есть несколько возможных стратегий, как сохранить больше настоящих позиций верхушек деревьев путем удаления фальшивых верхушек.

Иногда аппроксимирующее число деревьев в массиве может быть заранее известно. Это может быть известно из предыдущего пересчета или из другого автоматизированного метода пересчета количества деревьев с наземных снимков. Для примера метод, описанный в [2]. В таких случаях число максимума может быть снижено в определенном систематическом виде, до тех пор пока не будет достигнут ожидаемый результат.

Рассмотрим 2 возможных метода. Использование  $N_{trees}$  максимума имеет большое значение (где корреляция высока) или вычисление гладко возрастающей корреляции изображения до тех пор, пока число локальных максимумов не будет равно  $N_{trees}$ . Если используется первый метод, то желательно использовать изначально сглаженную корреляцию изображения и совместить кластеры максимумов около настоящих вершин деревьев.

Альтернативный метод должен принимать варианты по одному, каждый раз выбирая следующего из оставшихся, имеющих высшую корреляцию с шаблоном. Когда вариант принят, все остальные убираются из рассмотрения. Процесс останавливается, когда все варианты выбраны. Либо процесс завершается, когда достигнут определенный порог ошибок.

Одним из назначений этих предварительных экспериментов является вычисление главных стратегий для получения правильного количества вариантов.

### Описание процедуры

Положения основ деревьев были вычислены сразу, экстраполированы до разме-

ра высоты верхушек деревьев и нанесены на изображение, чтобы показать изначальное положение настоящих верхушек деревьев. Результирующее расположение верхушек деревьев показано на снимках. Они используются как точные показатели в экспериментах.

Различные параметры, выбранные для оптической модели были взяты из табл. 1. Параметры кроны дерева были выбраны из имеющихся изображений выбранного лесного массива. Параметры освещения выбраны, чтобы показать аппроксимирующие взаимодействия между землей и солнцем – освещенные области и затемненные стороны деревьев, которые появляются на изображениях. Были созданы специальные процедуры для обработки этих параметров.

Радиус шаблона составляет 25 пикселей и был выбран потому, что практически каждая верхушка кроны дерева была видна на обоих снимках. Начальные выбранные варианты верхушек деревьев из двух изображений показаны на рисунках 4–5.

Для того, чтобы откорректировать любую систематическую ошибку, представленную расположением верхушек деревьев в наземных контрольных данных, были сопоставлены все положения от устройств наземных контрольных данных, которые соответствовали первоначальным вариантам в пределах 6 пикселей, с самым близким вариантом, для каждого изображения было вычислено соответствующее среднее смещение.

Смещения для снимка 124 являются 2,39 рядов и 1.51 столбцов, а для снимка 144 – 0,66 рядов и –0,21 столбцов, что означает, что такая трансляция истинных положений верхушек деревьев приведет усредненное смещение к нулю. Эти смещения были применены, в первую очередь, для дальнейшей стратегии различных совпадений. Это дает как уменьшение ошибок, так и уменьшение несоответствий между шаблонами крон деревьев и настоящей кроной дерева.

### Предлагаемые усовершенствования

Были использованы следующие 4 метода для достижения лучшего результата, а именно выборки 171 варианта.

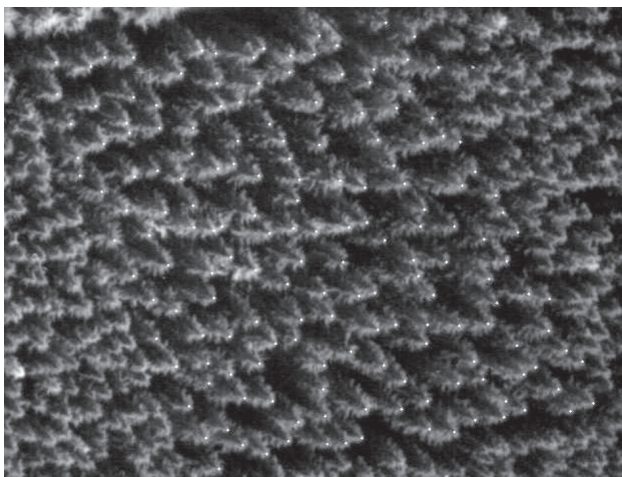


Рис. 2. Снимок “124” с 171 найденными верхушками вручную

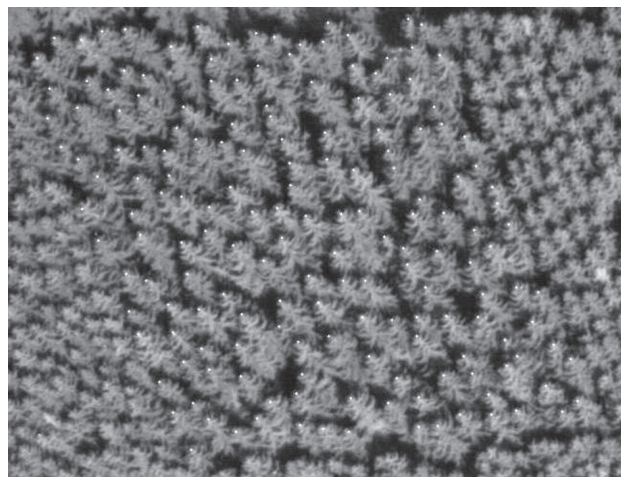


Рис. 3. Снимок “144” с 171 найденными верхушками вручную

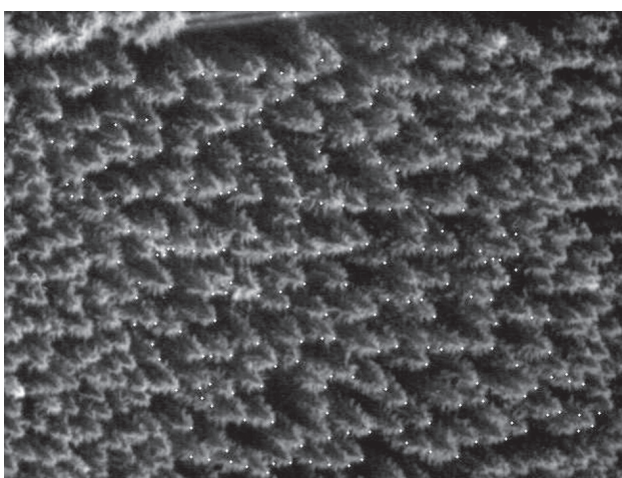


Рис. 4. Снимок “124” с 225 выбранными верхушками

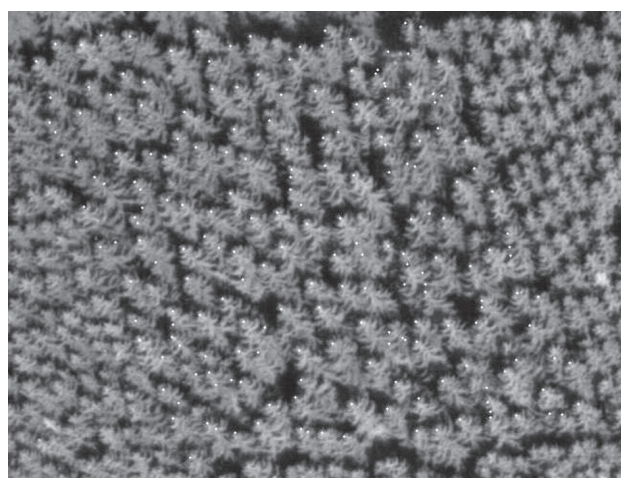


Рис. 5. Снимок “144” с 206 вариантами верхушек

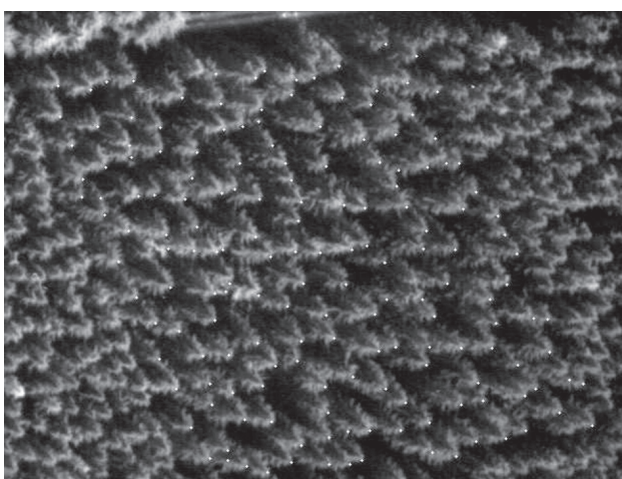


Рис. 6. Снимок “124” с 171 найденными верхушками по методу 3

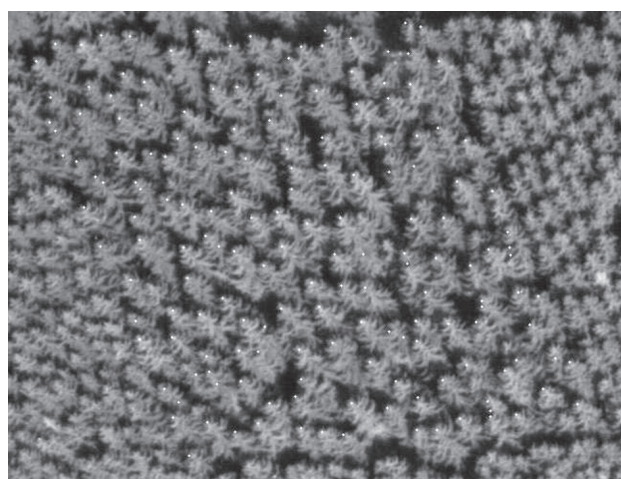


Рис. 7. Снимок “144” с 171 найденными верхушками, по методу 2

1. Выбор 171 варианта, отвечающего самой высокой корреляции.

2. Сглаживание корреляции изображения с помощью фильтра Гаусса со стан-

дартным отклонением  $\sigma = 1$  пикселей и последующий выбор 171 самого большого локального максимума на сглаженном изображении.



3. Сглаживание корреляции изображения с помощью фильтра Гаусса с нарастающей стандартным отклонением до тех пор, пока результирующее изображение оставит лишь 171 максимум. Это приводит к стандартному отклонению в 2.100 пикселей для снимка 124 и 1.520 пикселей для снимка 144.

4. Выбор 171 варианта в одно и то же время от высшей к низшей корреляции с устранением вариантов, которые не подходят по радиусу. Устраняющий радиус находится вычитанием 2 из самой короткой дистанции между двумя вершинами деревьев на рис. 2 и 3. Результирующий радиус равняется 7 для снимка 124 и 9 для 144.

Последующая процедура была использована для сравнения заданного множества выбранных позиций верхушек с позициями проверенных данных (со смещением, как было описано выше): соответствия между двумя множествами в порядке возрастания ошибки (расстояние между двумя позициями) таким образом, что каждая позиция в каждом множестве была использована лишь раз. Процедура была прекращена, когда ошибка дистанции в последующем сравнении приблизилась к 15 пикселям (2,25 м) или больше. Все позиции, не вошедшие на этом этапе, были объявлены неподходящими, и их «ошибка положения» была установлена 15 пикселям для учета в статистических данных.

### Сравнительное тестирование алгоритмов

Сравнивая рис. 4 и 5 с рис. 2, 3, мы видим, что шаблонная корреляция в целом дает хорошие результаты практически для всех верхушек деревьев, особенно если они освещены сзади. Но все же на рис. 4 и 5 мы видим, что некоторые деревья выбираются несколько раз, т.к. есть совпадение по нормальному максимуму. Это приводит в конечном итоге к тому, что некоторым не совпавшим максимумам и верхушкам деревьев, когда число выбранных элементов сокращается до 171 лучшего результата по методу 1. Методы 2, 3 и 4 дают лучшие результаты. 1 метод имеет самое большое количество не совпавших максимумов для обоих снимков 124 и 144.

Как бы то ни было таких понятных выводов нельзя сделать, глядя на табл. 3, где метод 1 является лучшим для снимка 124 и вторым по качеству для снимка 144. Из анализа производительности средней дистанции видно, что улучшения в методах 2–4 влияют в основном на худшую часть совпадений.

Т а б л и ц а 1

#### Параметры оптической модели кроны дерева

Высота дерева	22,7 м
Основание кроны дерева	5 м
Высота кроны	$a = 17,7$ м
Радиус кроны	$b = 2,84$ м
Фактор фигуры кроны	$n = 1,6$
Плотность листвы	$f = 0,75$
Константа отражения листвы	$(1 - p_{abs}) K_{refl} = 0,25$
Мощность солнца	1.6
Отражения земной поверхности	$p_{124} = 0,25; p_{144} = 0,20$
Параметр Миннарта	$k = 1$
Радиус шаблона	25 пикселей = 3,75 м

Т а б л и ц а 2

#### Количество не совпавших верхушек деревьев для двух снимков

Метод	Снимок 124	Снимок 144
1	12	20
2	10	16
3	8	18
4	11	17

Т а б л и ц а 3

#### Средняя ошибка дистанции по пикселям для двух снимков

Метод	Снимок 124	Снимок 144
1	1.679	2.582
2	1.679	2.506
3	1.985	2.675
4	1.679	2.675

Т а б л и ц а 4

#### Среднеквадратические ошибки в расстояниях между пикселями

Метод	Снимок 124	Снимок 144
1	4.644	6.191
2	4.246	5.879
3	4.009	6.084
4	4.377	6.049

Увеличение средней ошибки дистанции вместо уменьшения в списке несовпавших деревьев с использованием метода 3 вместо метода 1 указывает, что позиции локальных максимумов корреляционного изображения смазываются, если изображение сглажено. В сравнении с методом 1 методы 2–4 увеличивают количество совпадений, но из таблицы 2–4 этого не видно, когда мы сравниваем эти три метода. Метод 2 выглядит намного лучше по сравнению с другими методами для снимка 144, в то время как (снимок 124) лучшим является метод номер 3. Результат для этих двух комбинаций показан на рис. 6 и 7. Понятно, что результаты для снимка 124 намного лучше, чем для снимка 144. Не удивительно, ведь человек находит это более сложным, чтобы вычленивать верхушки деревьев на снимке 144 нежели на 124. Больше того, сравнивая рис. 3 и 6, можно заметить, что для снимка 144 числа верхушек деревьев даже не было найдено вариантов (т.е. у них нет отвечающих максимуму по шаблону корреляционной функции). Это проблема, которая не возникла для снимка 124.

Предложенные как модификации прямой максимизации корреляционной функции три метода с использованием сглаживания или прямого устранения ненужных вариантов дают усовершенствование в работе с распознаванием верхушек деревьев.

#### Библиографический список

1. Kim Dralle. Locating Trees by Digital Image Processing of Aerial Photos. PhD thesis, Royal Veterinary and Agricultural University of Denmark, Frederiksberg, Denmark, 1997.
2. Kim Dralle and Mats Rudemo. Stem number estimation by kernel smoothing in aerial photos. *Canadian Journal of Forest Research*, 26:1228–1236, 1996.
3. Kim Dralle and Mats Rudemo. Estimation of individual tree positions from aerial photos. Manuscript submitted December 1996 to *Canadian Journal of Forest Research*, 1997.
4. Richard J. Pollock. A model-based approach to automatically locating tree crowns in high spatial resolution images. In Jacky Desachy, editor, *Image and Signal Processing for Remote Sensing*, Proc. SPIE 2315, pages 526–537, Rome, Italy, 1994.
5. Robert J. Woodham and Malcolm H. Gray. An analytic method for radiometric correction of satellite multispectral scanner data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 25(3):258–271, May 1987.

## СТАРТОВЫЙ НАБОР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ ATtiny 2313

А.А. ТРОИЦКИЙ, доц. каф. автоматизации и управления МГУЛ

*troitsky@mgul.ac.ru*

Многие фирмы, выпускающие микроконтроллеры, разрабатывают так называемые **стартовые наборы**, которые используются для изучения свойств микроконтроллеров и исследования возможных способов их применения. Они состоят из микроконтроллера, системы индикации его состояния, устройств и штепсельных разъемов для связи с другими системами и компьютером.

Материалом для статьи послужила разработка стартового набора, проведенная на кафедре АиУ для использования его в качестве лабораторного макета в курсе «Микропроцессорные системы управления». При этом преследовались следующие цели:

– показать необходимость проведения студентами реальных конструкторских работ для формирования специалиста;

– показать возможность изготовления силами студентов в современных условиях реальных качественных лабораторных макетов промышленными способами.

Для этого на кафедре автоматизации и управления в системе проектирования печатных плат P-CAD 2004 была разработана принципиальная схема устройства и конструкция печатной платы. Затем были заказаны 8 экземпляров плат, закуплены комплектующие изделия и 5 макетов были распаяны и испытаны. Ниже приводится подробное описание этого процесса.

В основе каждой микропроцессорной системы лежит конкретный микропроцессор, выполняющий определенный набор операций и окруженный рядом периферийных устройств. В качестве такого микроконтроллера была вы-

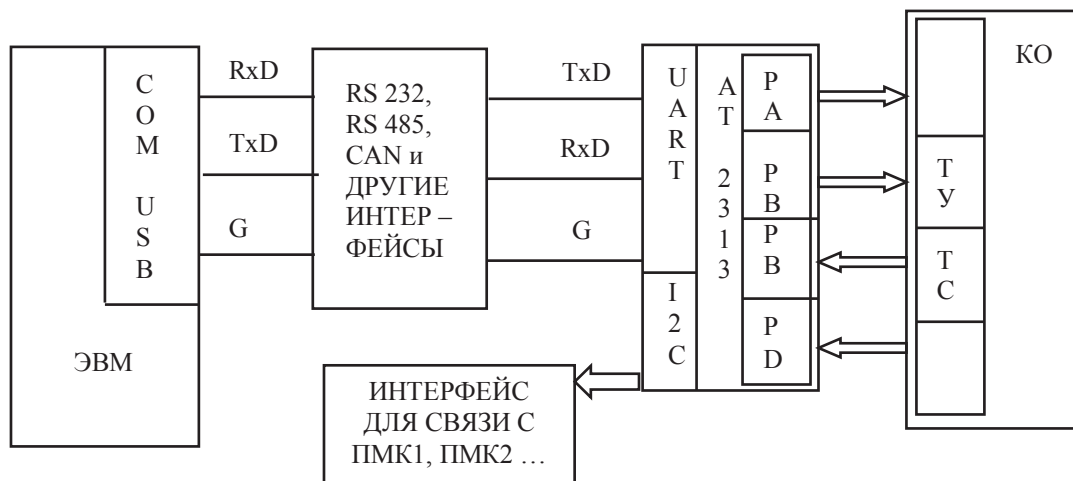


Рис. 1. Функциональная схема автоматизированной системы управления техническим объектом: ЭВМ – управляющая вычислительная машина, COM, USB – порты последовательной передачи информации, RxD-линия связи для приема информации, TxD – линия связи для передачи информации, G – линия заземления, AT2313 – ведущий программируемый микроконтроллер ATtiny2313, UART, I2C – порты последовательной передачи информации, PA, PB, PD, – порты параллельной передачи информации, КО – контролируемый объект (двигатель), ТУ – элементы телеуправления, ТС – элементы телесигнализации, ПМК 1, ПМК2 – ведомые микроконтроллеры

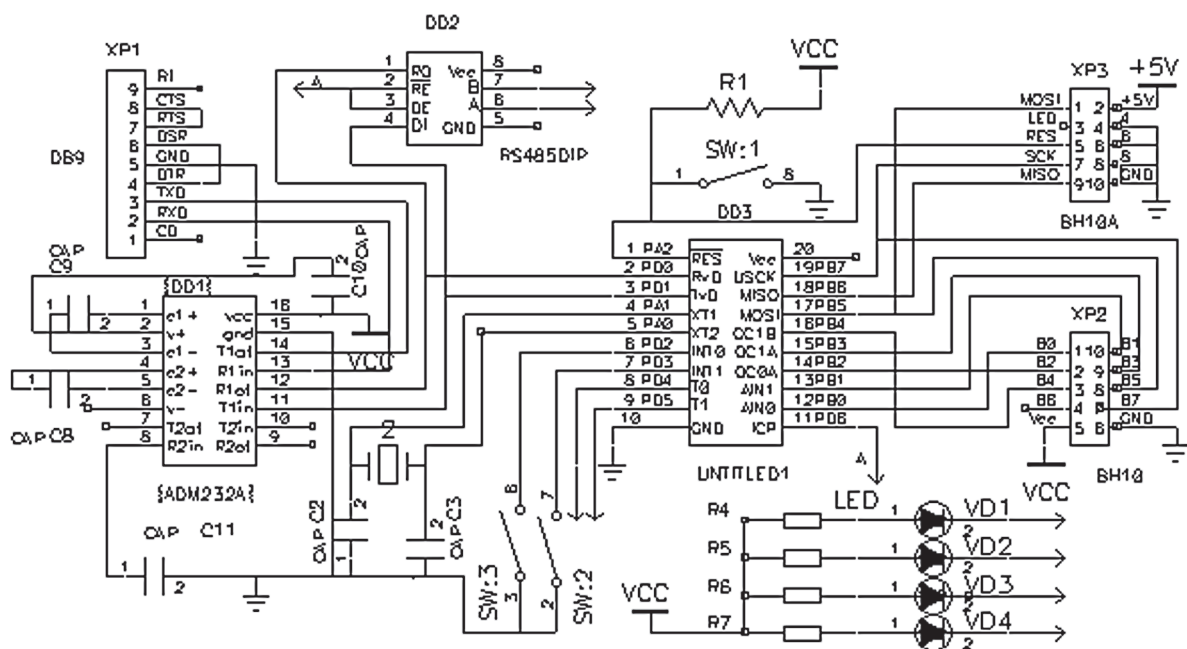


Рис. 2. Принципиальная схема стартового набора ATtiny 2313. DD1 (ADM232) – драйвер линии связи с COM портом компьютера, DD2 (ADM485) – дифференциальный приемопередатчик линии связи с контролируемыми пунктами, DD3 (ATtiny2313) – ведущий программируемый микроконтроллер системы управления, XP1 (DB9) – разъем для связи с COM портом компьютера, XP2 (BH10) – разъем для связи с объектами управления, XP3 (BH10) – разъем для записи программы во флеш-память контроллера, S1:1 – кнопка RESET, S1:2, S1:3 – кнопки внешних прерываний INT0, INT1, VD1, VD2, VD3, VD4 – светодиоды-индикаторы, 2 – кварцевый резонатор внутреннего тактового генератора

брана микросхема ATtiny2313 фирмы Atmel из-за его сравнительной простоты, дешевизны и достаточно большого набора выполняемых функций [1]. Существует много вариантов применения контроллера в различных системах

управления. Чтобы облегчить изучение работы контроллера, ограничимся рассмотрением его работы в составе системы управления электроприводом. Функциональная схема такой системы представлена на рис.1

схема стартового набора представлена на рис.2. Назначение микросхем и разъемов указано в подписях под рисунками.

### Микропроцессорная система управления асинхронным реверсивным двигателем

Наиболее полное представление о работе контроллера может быть получено в процессе проектирования реальной системы управления электродвигателем. В нашем распоряжении имеется реверсивный асинхронный двигатель с двумя обмотками управления, обеспечивающими вращение вала влево и вправо. Сдвиг фаз напряжения в обмотках статора осуществляется конденсатором.

Рассмотрим программы основных действий, которые должен выполнять контроллер в составе системы управления электроприводом:

- обмен информацией между компьютером и контроллером;
- выдача управляющих команд объектам управления через параллельные порты и устройства связи с объектами (УСО);
- получение цифровой или аналоговой информации, ее обработка и применение в процессах управления;
- обработка информации по сигналам прерываний;
- управление временными интервалами.

Используя эти операции, контроллер может управлять работой асинхронного реверсивного электродвигателя, включенного по следующей схеме.

Система работает следующим образом. При подаче сигнала «0» на выводы порта В0 или В1 замыкаются силовые цепи обмоток В или С через соответствующие УСО0 или УСО1 и двигатель вращается в прямом или обратном направлении. При подаче на оба вывода сигнала «1» двигатель останавливается. Это состояние выводов порта В необходимо задать и при инициализации порта в момент начала работы. Для полного выключения двигателя необходимо разорвать и цепь обмотки А, для чего нужно создать еще одну цепь управления, аналогичную схемам управления обмотками В и С, или предусмотреть другой способ отключения, например с помощью концевых выключателей. Таким образом, для простого управления электродвигателем (без регулирования скорости) нужны три команды:

- вращение вперед (кодируется 01),
- вращение назад (кодируется 10),
- стоп (кодируется 11).

В работах [2, 3] система управления рассматривалась как иерархическая, в которой наличие уровня иерархии определялось наличием формального языка описания законов функционирования самой системы и ее элементов. В стартовом наборе управление системой описывается на языке Visual Basic, а управление непосредственно двигателем записывается в контроллере на языке С. Создать в компьютере систему управления одним, двумя или четырьмя близко расположенными электродвигателями не очень сложно, так как для простого управления одним двигателем

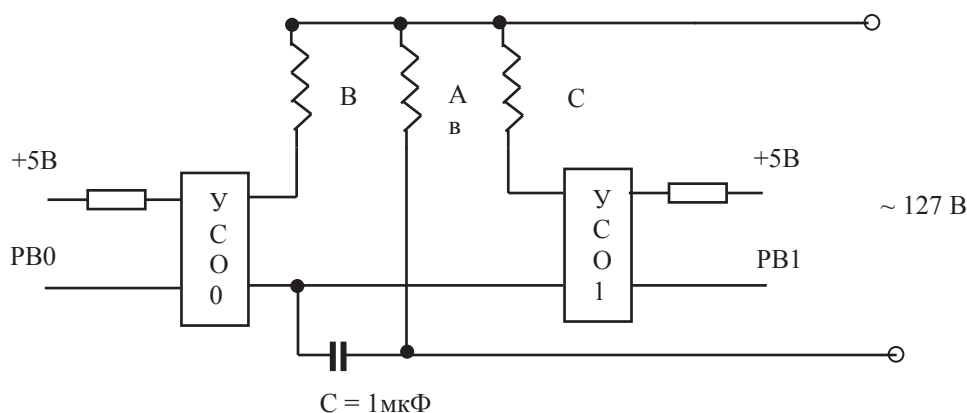


Рис. 3. Схема системы управления асинхронным реверсивным двигателем: А, В и С – обмотки статора, обмотки В и С сдвинуты по фазе относительно А на  $\pm 90^\circ$ , С = 1 мкФ – фазосдвигающая емкость, УСО – устройство связи с объектом, В0 и В1 – выводы порта В

требуется два разряда порта В и, комбинируя различные команды, можно разработать программу управления довольно сложным процессом. В этой статье программа компьютера написана именно для этого случая. Однако для получения более общего решения можно рассмотреть случай управления двумя двигателями с помощью двух контроллеров. Тогда мы получим возможность увеличить число объектов управления (не обязательно электродвигателей), а, разработав способы связи и обмена информацией между объектами, получим систему управления с возможностью расширения ее функций путем увеличения числа контроллеров. Для этого каждый контроллер должен иметь свой адрес, а перечень необходимых действий контроллера расширится. Но сначала следует рассмотреть программы выполнения отдельных действий для компьютера и контроллера.

### Обмен информацией между компьютером и контроллером

Пусть кадр обмена информацией между компьютером и контроллером начинается

символом «@» – десятичный код 64, а заканчивается символом «\*» – десятичный код 42. Между ними будет размещена информация об адресе контроллера и тех действиях, которые должен выполнить объект управления.

Для отображения состояния отдельных функциональных элементов, входящих в состав микроконтроллера, используется индикатор из 4-х светодиодов, аноды которых через нагрузочные резисторы соединены с + источника питания. К свободным выводам присоединяются выводы порта В контроллера для проверки правильности приема информации от компьютера.

Теперь приступим к реализации системы управления. Напишем программу для компьютера, управляющего работой контроллера и программу для контроллера, управляющего работой двигателя.

Начнем с первой программы. Для ввода информации в контроллер на экране компьютера в среде VB создается виртуальный пульт управления. Предполагается, что для этого имеются начальные навыки работы в визуальной среде программирования, или эти

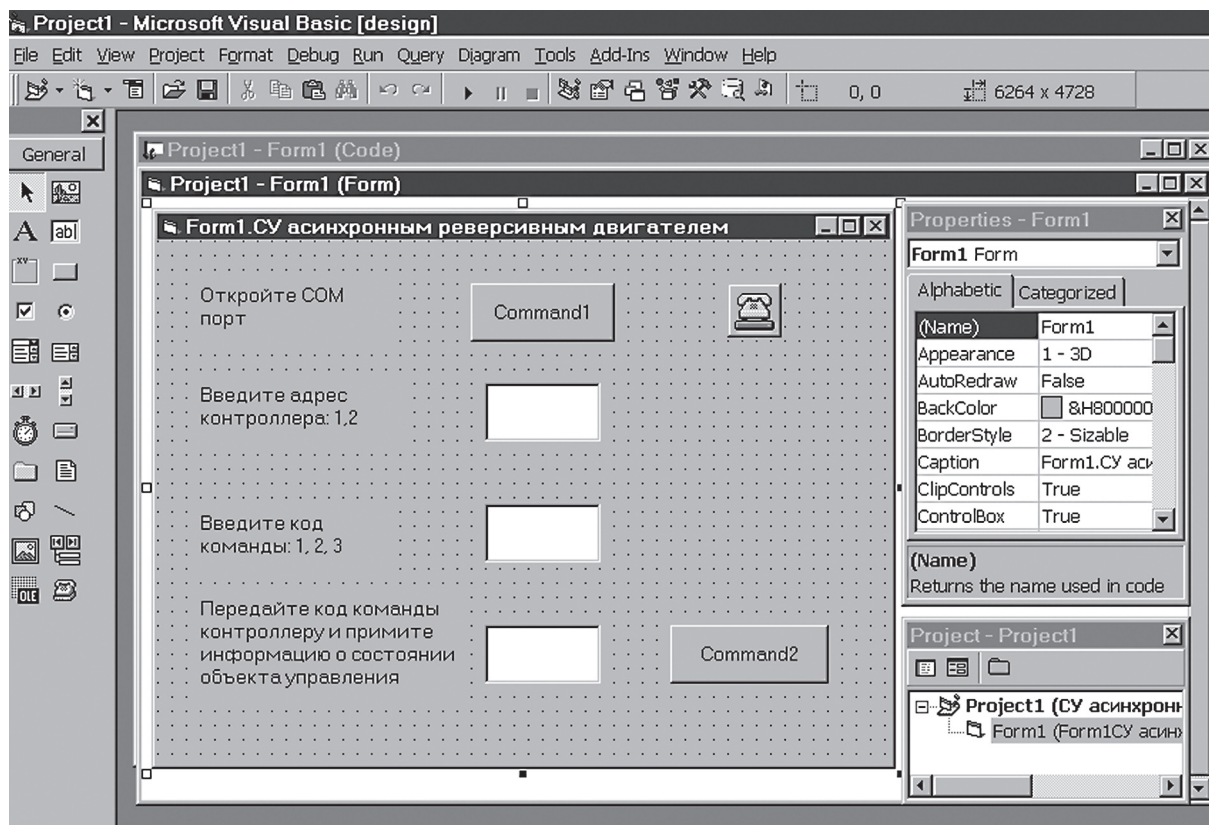


Рис. 4. Виртуальный пульт управления асинхронным реверсивным двигателем

знания могут быть получены из литературных источников [4].

На пульте управления создаются командные кнопки, текстовые окна для отображения передаваемой и принимаемой информации и элемент управления Microsoft Communications (MSComm) Control, который позволяет программе передавать и принимать данные через UART. Для помещения этого элемента на панель инструментов следует выполнить следующую последовательность действий: Project \ Component \ Microsoft Comm Control 6.0 \ выбираем компонент, ставя галочку \ Ok. В результате на панели инструментов появляется изображение телефонного аппарата, который мы переносим в форму. Примерная форма пульта управления изображена на рис. 4.

Теперь для созданного пульта следует написать программу для передачи команд контроллеру и приема информации о состоянии порта В на языке Visual Basic.

В приведенной ниже программе предполагается использование упрощенного протокола обмена информацией между компьютером и контроллером, написанного специально для стартового набора. Передача начинается с символа «@», за которым следуют код адреса контроллера, код команды и заключительный символ «\*».

```
Option Explicit
Dim a As Integer
Dim b As Integer
Dim d As String
Dim e As String
Dim i As Integer
Dim j As Integer
```

```
Private Sub Command1_Click()
Me.MSComm1.CommPort = 2 'CommPort1 используется
'для программирования контроллера
Me.MSComm1.Settings = «9600,n,8,1» 'параметры связи:
скорость
'передачи 9600 Бод, нет проверки на четность, 8 бит
данные, 1бит стоп
Me.MSComm1.PortOpen = True
Me.MSComm1.DTREnable = True
Me.MSComm1.Output = Chr$(64) 'передача кода 1-го
символа
Me.Command1.Enabled = False

End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
a = Text1.Text 'ввод кода адреса контроллера
d = Chr$(a)
Me.MSComm1.Output = d 'передача кода адреса в линию
связи
For i = 0 To 10000 'задержка, необходимая для обработки
кода адреса на
For j = 0 To 10 'приемной стороне (подбирается при
отладке)
Next j
Next i
```

```
b = Text2.Text 'ввод кода команды
e = Chr$(b)
Me.MSComm1.Output = e 'передача кода команды в линию
связи
For i = 0 To 10000 'задержка, необходимая для
For j = 0 To 10 'обработки кода команды
Next j
Next i
```

```
Dim tmp As String
Dim txt As Integer
tmp = Me.MSComm1.Input 'прием информации о состоянии
If a = 1 Then 'объекта управления в буфер tmp
txt = 0
Else
txt = Asc(tmp)
End If
Text3.Text = txt
Me.MSComm1.Output = Chr$(42) 'передача заключительного
символа
For i = 0 To 10000
For j = 0 To 10
Next j
Next i
Me.Command2.Enabled = False
End Sub
```

Напишем теперь программу работы контроллера для приема команд компьютера, выдачи команд исполнительным механизмам и передачи информации о состоянии порта В в компьютер на языке C. Для этого воспользуемся версией автоматического синтезатора программ CodeWizardAVR, взятой из Internet [5, 6].

```
/*
*****
This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.25.3 Evaluation
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2007 Pavel Haiduc, HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.com
```

Project :  
 Version :  
 Date : 22.02.2009  
 Author : Freeware, for evaluation and non-commercial use only  
 Company :  
 Comments:  
 Chip type : ATtiny2313  
 Clock frequency : 7,372800 MHz  
 Memory model : Tiny  
 External SRAM size : 0  
 Data Stack size : 32  
 \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*/

```
#include <tiny2313.h>
.....
// Global enable interrupts
#asm(«sei»)
while (1)
{
// Place your code here
m: while (!(UCSRA&(1<<7))) //Ожидание приема 1-го
символа
;
rx_buffer[0]=getchar(); //Прием 1-го символа
#asm
nop
nop
#endasm
if (rx_buffer[0]==0x40) // Сравнение 1-го символа с за-
данным значением
{
PORTB=rx_buffer[0]; // Визуальная индикация 1-го
символа
tx_buffer[0]= rx_buffer[0];
}
else
goto m;
while (!(UCSRA&(1<<7))) //Ожидание приема 1-го
символа
{;}
rx_buffer[1]=getchar(); //Прием адреса КП – 1 или 2
PORTB=rx_buffer[1]; // Визуальная индикация адреса
КП
tx_buffer[1]=rx_buffer[1];
while (!(UCSRA&(1<<7)))
;
rx_buffer[2]=getchar(); //Прием команды объекту уп-
равления
PORTB=rx_buffer[2]; // Визуальная индикация команды
tx_buffer[2]=rx_buffer[2];
while (!(UCSRA&(1<<7))) // Ожидание приема заклю-
чительного символа
;
rx_buffer[3]=getchar(); //Прием заключительного сим-
вола
```

```
if ( rx_buffer[3]==0x42)
{
PORTB=rx_buffer[2];
PINB= PORTB; //Выдача команды исполнительным
механизмам
putchar(tx_buffer[1]); // Сообщение об окончании при-
ема команды
}
else
goto m;
};
}
```

Запись программы в контроллер производится с помощью внутрисхемного программатора AS2M компании Аргуссофт и программы ASISP 1106, поставляемой той же фирмой вместе с программатором.

На основе стартового набора для микросхемы ATtiny2313 был разработан и изготовлен макет системы управления асинхронным реверсивным конденсаторным электродвигателем (рис. 5).

COM порт компьютера через интерфейс RS232 связан с UART (Универсальным асинхронным приемо-передатчиком) ведущего контроллера, который, в свою очередь, через интерфейс RS485 связан с двумя ведомыми контроллерами. Один из них управляет двигателем, выдавая команды вращения вправо или влево и стоп, другой контроллер предназначен для сбора информации о состоянии системы управления двигателем. Двигатель через передачу винтовая пара приводит в движение каретку, на которой может быть закреплен инструмент. Информация от ведущего контроллера к ведомым передается по линии связи типа витая пара на расстояние около 5 м.

Макет был изготовлен силами преподавателей и студентов, чтобы показать возможность и даже необходимость проведения таких законченных творческих работ от начальной стадии проектирования до проведения исследований на изготовленном оборудовании в процессе обучения в современных условиях. Сейчас кафедра может заказать изготовление печатных плат промышленности, а изготовление необходимых деталей механики проводить в учебно-производственных мастерских, где также с большим интересом

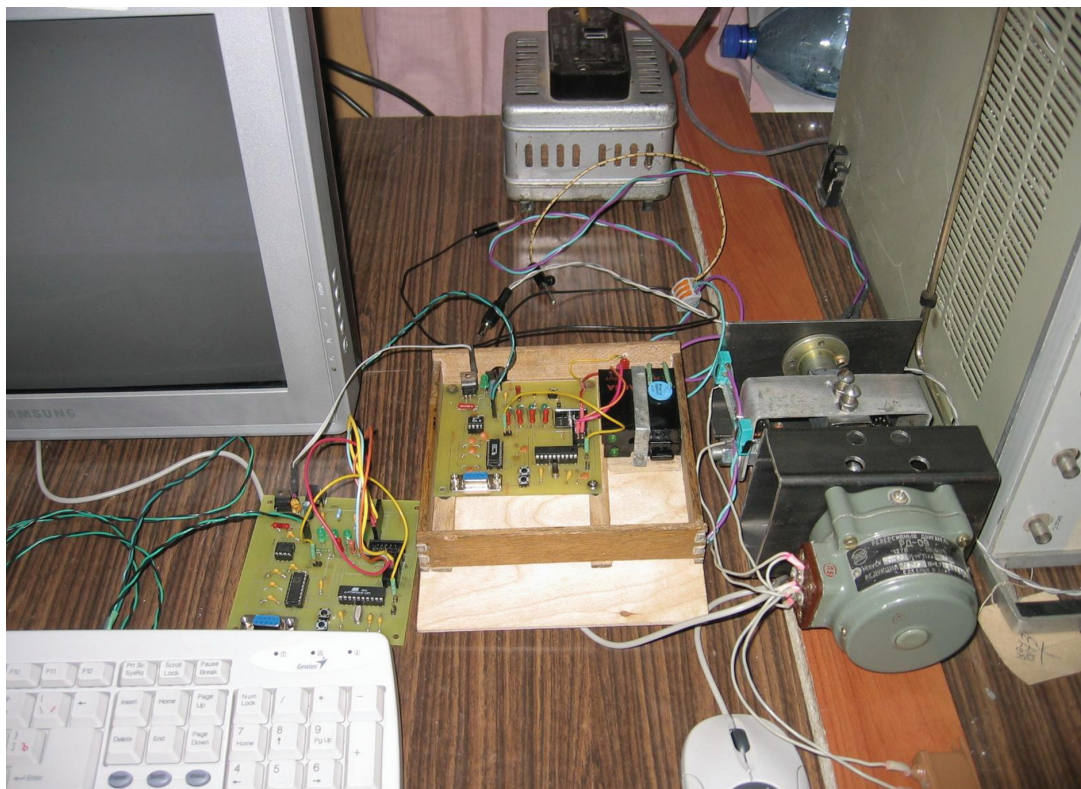


Рис. 5. Макет системы управления асинхронным реверсивным двигателем

и пользой могут работать студенты механических специальностей.

#### Библиографический список

1. Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Classic фирмы Atmel / А.В. Евстифеев. – М.: Издательский дом «Додэка XXI», 2004 – 288 с.
2. Троицкий, А.А. Применение технологии САПР/АСУТП в учебном процессе / А.А. Троицкий // Автоматизация и компьютеризация информационной
3. Троицкий, А.А. Технические средства автоматизации и управления: лабораторный практикум / А.А. Троицкий. – М.: МГУЛ, 2007. – 75 с.
4. Сайлер, Брайн, Споттс, Джеф. Использование Visual Basic 6. Специальное издание.: Пер. с англ / Сайлер, Брайн, Споттс, Джеф. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005.– 832 с.
5. //www.atmel.ru
6. // www.hpinfotech.com

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕБАЗИРУЕМЫМ КОМПЛЕКСОМ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ

В.Д. БУРКОВ, *проф. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ, д-р техн. наук,*

А.Е. ОРЛОВ, *асп. каф. информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГУЛ,*

В.С. ШАЛАЕВ, *проф. МГУЛ, д-р техн. наук*

*burkov@mgul.ac.ru*

Анализ направлений модернизации и создания новых измерительных комплексов показывает, что полное решение задач ИТО невозможно без создания в их составе пере-

базлируемой компоненты, позволяющей оперативно изменять конфигурацию комплекса применительно к особенностям конкретного пуска. При этом немаловажное значение име-



ет резкое сокращение экономических затрат за счет отказа от строительства и содержания стационарных зданий и сооружений и организации вахтового метода применения ПКТИ.

В 2005–07 гг., в рамках концепции по формированию единого государственного наземного комплекса управления и измерений (ЕГ НАКУ и И), были сформулированы современные принципы подхода к построению перебазируемых измерительных комплексов. Основными из них являются: 1) функциональная универсальность – способность выполнять целевые задачи в составе измерительных комплексов изделий РКТ при различных вариантах функционального включения; 2) функциональная автономность – способность самостоятельного решения всего комплекса задач обеспечения и целевого применения; 3) транспортабельность – возможность экономической транспортировки в рабочую точку всеми видами транспорта с соблюдением установленных правил перевозок, в том числе международных; 4) оптимизация критерия «цена–качество» за счет конструктивной компоновки, выбора современных базовых элементов и систем, гибкой архитектуры аппаратно-программного комплекса; 5) модульность построения, высокая степень «заводской готовности», возможность изменения конфигурации и модернизации под конкретные задачи; 6) информационная совместимость с с мультисервисными системами связи и передачи данных ИКК космодромов, полигонов и НАКУ.

В 2010 г. ОАО «НПО ИТ» в рамках программы «Днепр» разработан и изготовлен перебазируемый комплекс телеметрических измерений (ПКТИ) 15Н2181. Комплекс с положительными результатами прошел весь цикл испытаний, принят на вооружение и в настоящее время находится в составе измерительных средств 4 ГЦМП.

Принципы построения, состав и характеристики аппаратно-программных средств комплекса позволяют с полным правом отнести его к классу универсальных. Основные характеристики комплекса представлены в [3].

Внешний вид комплекса в развернутом в позиционном районе «Домбаровский» положении показан на рис. 1.

### Задачи системы управления (СУ) ПКТИ, вытекающие из задач и условий размещения и применения комплексов

В настоящее время основное применение перебазируемых комплексов – это получение с их помощью ТМИ на необорудованных приемными радиотелеметрическими системами и комплексами трассах полета ракет-носителей и разгонных блоков в различных районах территории Земли, в том числе и в акватории Мирового океана.

В таких проектах, как создание измерительного комплекса космодрома Восточный, вопрос приема телеметрической информации в акватории Японского моря при запусках пилотируемых КА стоит очень остро. Система управления ПКТИ должна обеспечивать:

1. Определение географического положения комплекса и координаты в пространстве для выполнения целеуказаний для наведения антенны и приема информации.
2. Определять условия эксплуатации комплекса: температурно-влажностный режим



Рис. 1. Общий вид перебазируемого комплекса телеизмерений на позиции в позиционном районе Домбаровский

в районе размещения ПКТИ, силу и направление ветра, атмосферное давление и т.п.

3. Обеспечивать при необходимости дистанционное управление комплексом с использованием внешних каналов связи.

4. Поддерживать антенну или весь комплекс в положении, обеспечивающим прием ТМИ – направление диаграммы направленности антенны на объект с учетом получения наибольшей мощности входного сигнала на входе в приемное устройство, при наличии существенных колебаний поверхности, на которой он установлен, т.е. в условиях морской качки.

Решение перечисленных задач может быть обеспечено путем использования в составе системы управления ПКТИ системы ГЛОНАСС и в условиях морской качки бесплатформенной навигационной системы на основе волоконно-оптических гироскопов. В качестве исполнительного механизма для преодоления морской качки может быть применена Платформа Стюарта.

### Применение системы ГЛОНАСС

Глобальная навигационная спутниковая система Глонасс, как показано в [8] и [9], предназначена для глобального и оперативно-го определения положения и скорости неограниченного числа подвижных объектов, находящихся в любой точки поверхности Земли, воздушного и космического пространства.

Система обеспечивает возможность в любой точке Земного шара и околоземного космического пространства оперативно в течение одной-двух минут после включения навигационной аппаратуры пользователя и затем непрерывно проводить высокоточные навигационные определения с предельными погрешностями, не превышающими 50–70 м по положению и 15 см в секунду по скорости. Одновременно система позволяет осуществлять привязку шкалы времени пользователей к Государственной шкале единого времени с погрешностью не более одной микросекунды. При реализации в аппаратуре пользователей специальных методов обработки навигационной информации использовании дифференциальных режимов

работы, точность определения местоположения пользователей существенно повышается. Испытания показали, что предельные погрешности в этом случае не превышают единиц метров.

Принцип навигации пользователей системы, находящихся в непрерывном радионавигационном поле, создаваемом космической навигационной системой (КНС), основан на определении в любой момент времени своего положения и скорости относительно навигационных космических аппаратов (НКА). Радионавигационные сигналы непрерывно излучаются каждым навигационным космическим аппаратом, входящим в орбитальную группировку. Эти сигналы в беззапросном режиме принимаются аппаратурой пользователя и по ним определяется относительная псевдодальность и псевдоскорость (скорость изменения псевдодальности). Псевдодальность определяется по времени запаздывания сигнала на пути НКА – пользователь (по сдвигу фазы принятого от НКА сигнала относительно опорного сигнала генератора хранителя частоты и времени аппаратуры пользователя), а псевдоскорость – по доплеровскому сдвигу частоты принятого сигнала. С использованием измеренных значений псевдодальности и псевдоскорости решается навигационная задача и определяются местоположение пользователя и скорость его движения. Благодаря применению на борту каждого НКА атомных стандартов частоты в системе обеспечивается взаимная синхронизация радионавигационных сигналов, излучаемых НКА, относительно наземного высокостабильного атомного стандарта, выполняющего функцию системного эталона частоты и времени. С использованием наземного эталона частоты и времени и высокостабильных бортовых стандартов частоты поддерживается синхронизированное для каждого НКА системное время.

В результате сравнения измеренных и расчетных значений измеряемых параметров навигационная аппаратура определяет свое местоположение, скорость и смещение собственной шкалы времени относительно шкалы времени системы Глонасс.

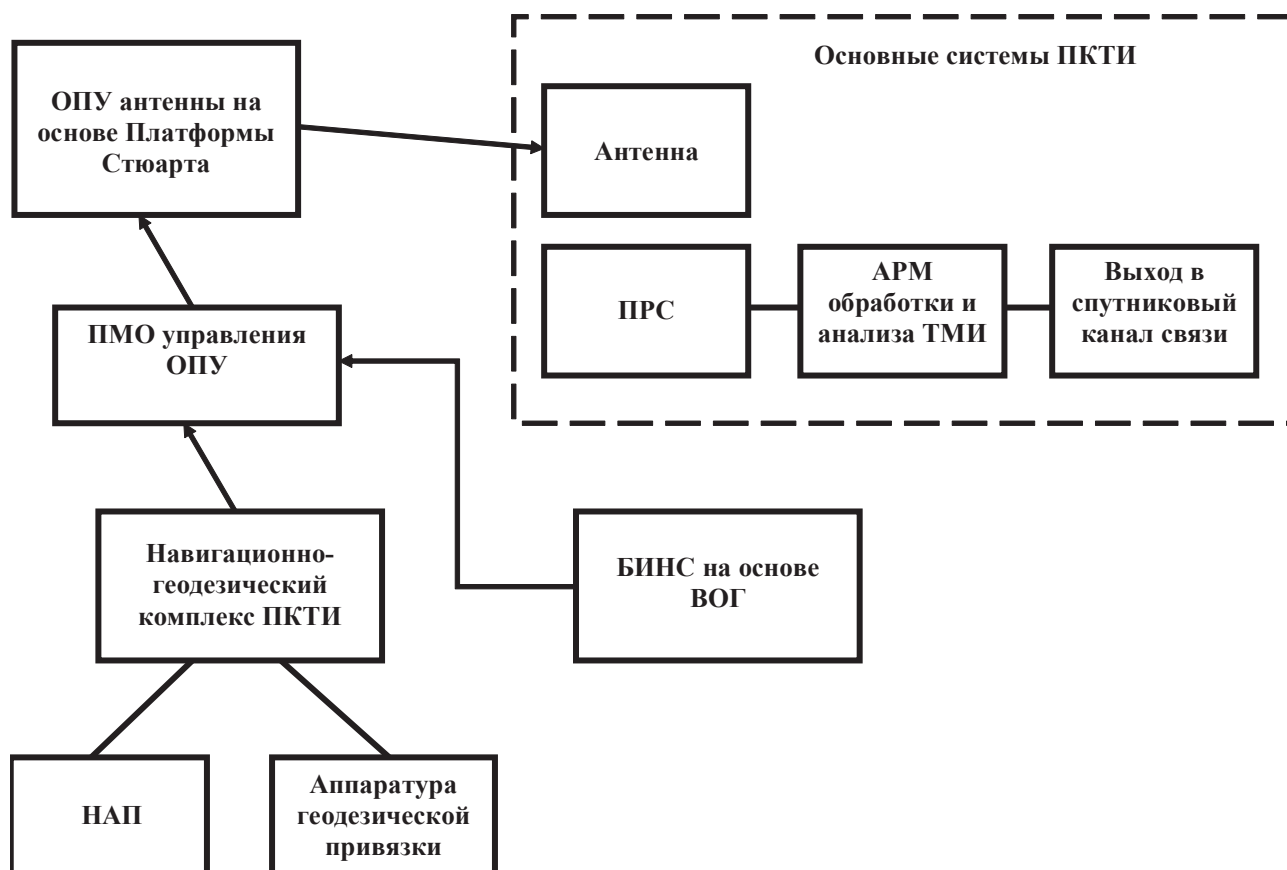


Рис. 2. Структурная схема системы управления ПКТИ

Точность определения пользователем местоположения и скорости обусловлена погрешностями, связанными с особенностями измеряемых приемниками пользователей параметров и способами их математической обработки – решения навигационной задачи.

Остановимся на возможной структурно-функциональной схеме системы управления ПКТИ и путях решения задачи управления комплексом. Вариант структурной схемы системы управления ПКТИ представлен на рис. 2.

При эксплуатации комплекса в нормальных условиях, когда объект установлен на относительно горизонтальной площадке и эта площадка не подвергается существенным колебаниям, работает навигационно-геодезический комплекс.

Навигационно-геодезический комплекс в составе ПКТИ обеспечивает:

- определение в реальном масштабе времени трехмерных координат местонахождения ПКТИ в геоцентрической системе координат с ошибкой, не превышающей 15,0 м,

- определение высоты с ошибкой, не превышающей 20,0 м;

- определение направления на Север с точностью не превышающей 30 уг.мин;

- формирование импульса временной привязки с погрешностью, не превышающей 1 мс и выдачу меток времени в ЛВС;

- отображение в графическом и цифровом виде на экране АРМ оператора ПРА необходимой информации: результатов навигационных определений, состояния рабочих каналов и т.д.;

- навигационно-геодезическая аппаратура должна строиться на базе серийной отечественной аппаратуры и обеспечивать работу со структурами сигналов систем «Глонасс»/»GPS».

В случае применения ПКТИ с установкой на морском судне, для получения информации о полете ракеты в акватории моря с информацией, получаемой навигационно-геодезическим комплексом, необходимо иметь высокоточные измерения перемещений поверхности антенны по отношению к геоцен-

трической системе координат (к поверхности палубы судна). Эта задача может быть решена путем установки антенного полотна на платформу, в виде так называемой платформы Стюарта [6] и управления ее положением с помощью информации об угловых скоростях изменения положения платформы, получаемой от волоконно-оптических гироскопов.

Положение и ориентация платформы Стюарта регулируется за счет целенаправленного изменения длины стержней, на которые она опирается, и соответствующего изменения углов их наклона к основанию.

Для управления работой платформы Стюарта, на которой укреплен датчик ПКТИ, необходима информация от датчика угловой скорости, в качестве которого предлагается использовать волоконно-оптические гироскопы.

Наиболее оптимальным решением при создании датчика угловой скорости является применение интерферометрических волоконно-оптических гироскопов. В связи с этим ниже коротко приводятся основные данные по ВОГ и принципах его работы, которые необходимо учитывать при разработке БИБ.

Принцип действия ВОГ основан на эффекте Саньяка. Как показано в [1], по замкнутому оптическому пути свет распространяется в двух противоположных направлениях. Если при этом система находится в покое относительно инерциального пространства, оба световых луча распространяются встречно по оптическому пути одинаковой длины. Поэтому при сложении лучей по завершении пути нет фазового сдвига. Однако, когда оптическая система вращается в инерциальном пространстве с угловой скоростью  $\Omega$ , между световыми волнами возникает разность фаз. Это явление называется эффектом Саньяка.

Величину разности фаз можно вычислить по следующему выражению

$$\Delta\varphi_{c_{x,y,z}} = \frac{8\pi SN}{c\lambda} \Omega_{x,y,z},$$

где  $\Delta\varphi_{c_{x,y,z}}$  – разность фаз Саньяка волоконно-оптического контура;

$S$  – площадь;

$\omega$  – угловая частота встречных волн;

$\lambda$  – длина световой волны;

$c$  – скорость света;

$N$  – число витков в волоконно-оптическом контуре;

$\Omega_{x,y,z}$  – угловая скорость вращения объекта, на котором закреплен волоконно-оптический контур.

В настоящее время в основном известны три типа волоконно-оптических гироскопов [1–5]:

- цельноволокнистый гироскоп без обратной связи на основе одного пьезо-электрического фазового модулятора;

- волоконно-оптический гироскоп с обратной связью с применением интегрально-оптического модулятора;

- волоконно-оптический гироскоп с обратной связью на основе двух пьезо-электрических фазовых модуляторов.

Однако на практике реально нашли применение два первых типа гироскопов.

В целом стоимость разработки и технологической отработки волоконно-оптического гироскопа с обратной связью с применением интегрально-оптического модулятора существенно больше по сравнению с гироскопом без обратной связи. Основным преимуществом ВОГ с обратной связью является линейный выход информации и потенциальная возможность обеспечения точности масштабного коэффициента на уровне, соизмеримом с точностью лазерного гироскопа.

Другим принципиальным свойством ВОГ является технология его изготовления сварная или цельноволокнистая.

Сварная технология предполагает наличие специального дорогостоящего оборудования для сварки предварительно ориентированных в пространстве отдельных оптических деталей, оканчивающихся волокном. При этом возникают дополнительные потери излучения на стыках, минимизация которых существенно усложняет оптическую часть ВОГ. В то же время данная технология позволяет использовать оптические детали различных производителей, что доставляет гибкость при конструировании ВОГ.

Цельноволокнистая технология не имеет этих недостатков, при этом в мире ею владеет только фирма ОАО «Физоптика», т.е.

чисто российская технология, при этом изготовление оптической части ВОГ реализуется только для схемы ВОГ без обратной связи.

Опыт НПО ИТ по разработке малогабаритных БИБ и БИНС на основе ВОГ собственной разработки, использующих цельноволокonnую технологию оптической части, показывает, что на этой основе возможно создание большого ряда приборов, удовлетворяющих практически всем современным требованиям.

Для повышения чувствительности в цельноволокonnом ВОГ применяется метод фазовой модуляции. Пьезоэлектрический модулятор создает дополнительный фазовый сдвиг за счет периодического растяжения и сжатия участка волоконного контура.

Рассматривая альтернативные варианты ВОГ, которые могли быть использованы в нашем случае, следует прежде всего остановиться на ВОГ с эрбиевыми волоконными источниками. Как показано в [2], применение эрбиевых волоконных источников в ВОГ позволяет существенно улучшить точностные и эксплуатационные характеристики ВОГ различных классов точности и стоимости, реализованных в настоящее время с суперлюминисцентными диодами. Рабочая длина волны, для которой оптические волокна имеют повышенную радиационную стойкость, высокий ресурс и надежность, делают ВОГ с эрбиевыми источниками наиболее привлекательными для использования в системах длительного космического базирования. На основе эрбиевых источников разрабатываются ВОГ очень высокой точности до  $10^{-5}$  град/час. Это связано с большей мощностью излучения в волокне, что обеспечивает более высокое отношение сигнала к шуму. Кроме того, высокая стабильность спектра эрбиевого источника позволяет снизить погрешность масштабного коэффициента ВОГ в диапазоне температур среды.

Здесь приведены его основные характеристики.

– Пороговая чувствительность 2 град/час·(Гц)<sup>1/2</sup>.

– Дрейф нуля 1,4 град/час в течение 8000 с (усреднение 300 с).

– Линейность выходной характеристики 3,2 % в диапазоне 0... ±5 град/с.

– Стабильность масштабного коэффициента 5 % на интервале времени 2 ч.

Кроме того, проведено сравнение волоконно-оптического гироскопа, применяемого в настоящее время в системах ОАО «НПО ИТ» с ВОГ бесплатформенного инерциального блока на базе поплавковых интегрирующих гироскопов [7]. Сравнительные характеристики представлены в таблице.

Рассматривая приведенные в таблице характеристики, можно отметить, несмотря на более высокую стабильность поплавковых гироскопов, существенно более широкий диапазон измерений при значительно меньшей массе системы предполагает выбор в пользу ГИВУС.

Очевидно, достоинства ВОГ с эрбиевыми источниками в дальнейшем обратят на себя внимание разработчиков. Таким образом, в ОАО НПО ИТ был выбран представленный выше вариант с учетом относительной простоты построения схемы и достижения требуемых массово-габаритных характеристик.

Применение системы управления комплексом с использованием системы ГЛОНАСС и волоконно-оптических гироскопов позволит существенно расширить известные возможности ПКТИ по приему ТМИ на необорудованных трассах полета ракеты и решить задачу получения ТМИ в условиях размещения на морских судах при наличии морской качки.

Т а б л и ц а

**Сравнительные характеристики**

Характеристики	ГИВУС	ГИВУС на базе поплавковых гироскопов КИНД34-064
Диапазон измерений входной угловой скорости, град/с	10	2
Стабильность нулевого сигнала в запуске 24 ч, град/час	0,2	0,007
Срок эксплуатации, лет	10	15
Масса, кг	0,65	10

**Библиографический список**

1. Датчики теплофизических и механических параметров: справочник в 3 т. – Т.1 (кн1). / под общей ред. Ю.Н. Коптева – М.: МГУЛ, 2000. – 458 с.
2. Бурков, В.Д. Волоконно-оптические гироскопы с эрбиевыми волоконными источниками излучения / В.Д. Бурков, В.П. Губин, А.И. Сазонов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2007. – № 2 (51). – С. 8–13.
3. Бурков, В.Д. Перспективы использования перебазируемого комплекса телеметрических измерений «Селена-ИТ» при приеме и обработке данных ДЗЗ в системе мониторинга природных процессов / В.Д. Бурков, М.В. Черемисин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. – № 3(79). – С. 170–179.
4. Галягин, К.С. Алгоритмическая компенсация термоиндуцированного смещения волоконно-оптического гироскопа, спецвыпуск «Фотон-эспресс» / К.С. Галягин, А.С. Ивонин, М.А. Ошивалов, Е.И. Вахрамеев. – М.: Наука 2011. – № 6. – С. 207.
5. Прокофьева, Л.П. Полупроводниковый волоконно-оптический гироскоп, спецвыпуск «Фотон-эспресс» / Л.П. Прокофьева, В.К. Сахаров, В.В. Щербаков. – М.: Наука 2011. – № 6. – С. 211.
6. Александров, В.В. Стабилизация управляемой платформы при наличии ветровых возмущений / В.В. Александров, Б.Я. Локшин, Л. Гомес-Эспарса, У. Салазар-Ибрагуэн // Фундаментальная и прикладная математика, 2005. – Т. 11. – № 7. – С. 97–115.
7. Шустов, И.Е. Бесплатформенная измерительная система для определения вектора угловой скорости космического аппарата блока на базе поплавок-интегрирующих гироскопов: дисс. ... канд. техн. наук / И.Е. Шустов. – М.: МГУЛ, 2012. – С. 21.
8. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС: Интерфейсный контрольный документ редакция 5.1. 2008: Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения: ИКД L1, L2 ГЛОНАСС.
9. ГЛОНАСС: принципы построения и функционирования/ под редакц. А.И. Перова, В.Н. Харисова: 3-е изд., перераб. – М.: Радиотехника, 2005 – 688 с.

**ВЕКТОР ПОЙНТИНГА И ПРОВОДИМОСТЬ МЕТАЛЛОВ**

А.П. САВРУХИН, *проф. каф. физики МГУЛ, канд. техн. наук*

*savrukhin@ya.ru*

В данном кратком сообщении приведены результаты исследования зависимости проводимости металлов от положения в периодической системе элементов Д.И. Менделеева. Постановка вопроса о передаче электрической энергии от источника к нагрузке дана в работе [1]. Утверждается, что величина напряженности *H* магнитного поля вокруг проводников линии передачи энергии, входящая в уравнение Пойнтинга, определяется не током,

а особым свойством материала проводника, называемым проводимостью. Целью исследования является уточнение характера связи проводимости чистых металлов (взято 47, от Li до Vi) с их физическими свойствами.

Кратко о результатах исследования. На рис. 1 даны зависимости удельного электрического сопротивления  $\rho$  ( $10^{-8}$  Ом·м) от номера (металлы расставлены в порядке возрастания  $\rho$ ) для валентностей: 1 – кружочки,

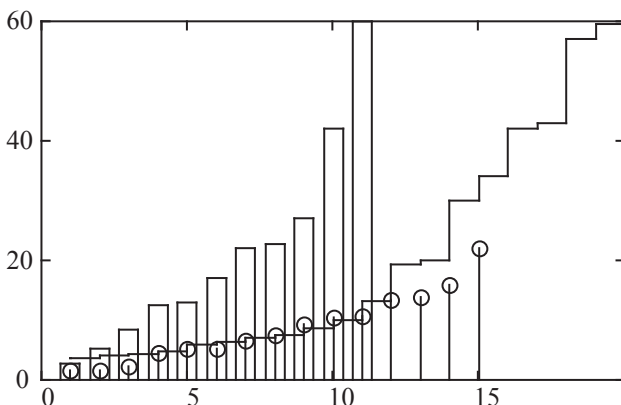


Рис. 1. Зависимости удельного электрического сопротивления от валентности металлов

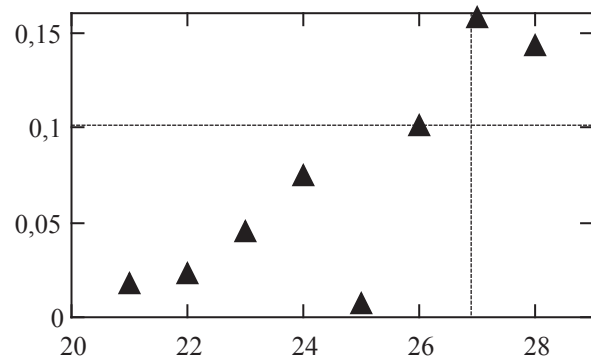


Рис. 2. Зависимость проводимости металлов 4 периода сопротивления от валентности металлов системы элементов от атомного номера

2 – лесенка, 3–5 – столбики. Средние геометрические значения равны 8.7, 29.5, 26.3 соответственно. На рис. 2 показана типичная зависимость проводимости  $\rho^{-1}$  ( $10^8 \text{ Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$ ) от порядкового номера в четвертом периоде системе элементов Д.И. Менделеева. Как видно, отклонение от линии имеет место для элементов 25 Mn и 27Co. Наше объяснение в первом случае состоит в том, что имеет место изменение электронной конфигурации, скачок валентности с 1 у 24 Cr к 2 у 25 Mn; а во втором – спецификой переходных ферромагнитных металлов. Проблема требует более тщательного изучения, тем более, если удастся приложить данную методику к исследованию свойств сплавов и разного рода композиций с возможностью прогноза свойств перспективных материалов. Имеют значение такие факторы, как способы механической обработки материалов, формирования кристаллической структуры, концентрация примесей, так как измеряются параметры материала, а не самого элемента. Проводимость кристаллов, на-

пример, различается в несколько раз в зависимости от направления по трем осям. Резкие скачки проводимости также имеют место при переходах к полуметаллам.

### Выводы

1. Наблюдается корреляция удельного электрического сопротивления металлов с их расположением в периодической системе элементов Д.И. Менделеева. В частности, средние геометрические значения равны 8.7, 29.5, 26.3 для элементов с валентностями 1, 2, 3 и далее соответственно. Существенно, прежде всего, различие между валентностями 1 и 2.

2. В расчетах следует различать продольную, вдоль проводника, и поперечную, между проводниками, компоненту электрического поля.

### Библиографический список

1. Саврухин, А.П. Природа магнитного поля / А.П. Саврухин //Электронный журнал МГУЛ. – Выпуск 10. Физико-математические науки. – 01/2012–12/2012.

## МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

В.И. ЗАПРУДНОВ, *проф. каф. геодезии и строительного дела МГУЛ, д-р техн. наук;*  
В.Г. САНАЕВ, *проф. каф. древесиноведения МГУЛ, д-р техн. наук*

*zaprudnov@mgul.ac.ru; sanaev@mgul.ac.ru*

Свойства древесно-цементного материала, сочетающие такие качества, как высокая прочность, низкие деформации, малая средняя плотность, трещиностойкость и другие, определяются его структурой.

Прогнозирование физико-механических свойств древесно-цементного композита позволяет свести к минимуму экспериментальные работы по выбору оптимального состава компонентов и геометрических параметров структуры. Для этого модель механической смеси древесно-цементного композита представляется как многокомпонентное образование, на границе компонентов которого выполняется условие непрерывности усилий и перемещений. Если свойства каждого компонента известны, то,

пользуясь уравнениями механики деформируемого твердого тела, можно в принципе определить распределение напряжений и деформаций в древесно-цементном материале и его эффективные или макроскопические свойства. Однако практическое решение указанной задачи связано с серьезными математическими трудностями.

Древесно-цементный композит имеет случайную или стохастическую структуру, характерными особенностями которой являются дискретность включений частиц древесного наполнителя, цементного камня и пор, их хаотичное расположение в пространстве, а также случайная форма. Поэтому для адекватного описания напряженно-деформированного состояния в древесно-цементном

материале необходимо привлекать методы теории случайных функций [3–5].

Определить эффективные линейно-упругие постоянные древесно-цементного композита с учетом геометрических параметров, формы поперечного сечения органического заполнителя и его расположения позволяет применение метода условных моментов [3].

В работе [1] дана формулировка и приведено решение задачи о прогнозировании напряженно-деформированного состояния древесно-цементных материалов с минеральным наполнителем, трансверсально-изотропным наполнителем и изотропным вяжущим с учетом пористости вяжущего вещества, базирующаяся на модели стохастической неоднородной упругой среды. Схемы механических моделей структуры древесно-цементных материалов представлены на рисунке.

*Исходные представления.* Точное описание механического поведения упругого тела из древесно-цементного материала в линейной постановке [2, 5] сводится к уравнениям сохранения импульса

$$\sigma_{ij,j} + F_i = \rho \ddot{u}_i; \quad (1)$$

соотношениям упругости

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn}; \quad (2)$$

и Коши

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)} \equiv 1/2(u_{i,j} + u_{j,i}). \quad (3)$$

Здесь  $\sigma_{ij}$  – тензор напряжений, Па;  $\varepsilon_{ij}$  – тензор деформаций;  $\lambda_{ijmn}$  – тензор упругих модулей четвертого ранга, Па;  $F_i$  – вектор объемных сил, Н/м<sup>3</sup>;  $u_i$  – вектор перемещений;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>.

Уравнения (1–3) и входящие в них параметры относятся к микроточкам, т. е. элементарным объемам и площадкам, размеры которых значительно меньше характерных размеров структурных параметров. Характеристики  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\rho$  древесно-цементного материала являются регулярными или случайными функциями координат в зависимости от характера расположения структурных элементов. При этом внутренняя энергия в микроточке определяется выражением

$$U = 1/2 \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} = 1/2 \lambda_{ijmn} \varepsilon_{ij} \varepsilon_{mn} = 1/2 s_{ijmn} \sigma_{ij} \sigma_{mn}, \quad (4)$$

где  $s_{ijmn} = \lambda_{ijmn}^{-1}$  – тензор упругих податливостей.

Решение уравнений (1–3) в общем случае связано с серьезными математичес-

кими трудностями. Однако для практической задачи, в которой изучается изменение напряжений и деформаций в древесно-цементном материале на расстояниях, значительно превышающих размеры структурных элементов, но достаточно малых в сравнении с размерами тела, можно ввести макронапряжения, макродеформации и макроперемещения, т. е. средние по элементарным макрообъемам и макроплощадкам от соответствующих параметров. При этом исходим из того, что размеры элементарных макрообъемов и макроплощадок значительно больше размеров структурных элементов и их можно рассматривать как микроточки. Тогда соответствующие уравнения относительно макроскопических параметров имеют вид

$$\langle \sigma_{ij} \rangle_j + \langle F_i \rangle = \langle \rho \rangle \langle \ddot{u}_i \rangle; \quad (5)$$

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \lambda_{ijmn}^* \langle \varepsilon_{mn} \rangle; \quad (6)$$

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle = \langle u_{(i,j)} \rangle. \quad (7)$$

При этом внутренняя энергия в микроточке определяется формулой

$$\langle U \rangle = 1/2 \langle \sigma_{ij} \rangle \langle \varepsilon_{ij} \rangle = 1/2 \lambda_{ijmn} \langle \varepsilon_{ij} \rangle \langle \varepsilon_{mn} \rangle = 1/2 s_{ijmn}^* \langle \sigma_{ij} \rangle \langle \sigma_{mn} \rangle, \quad (8)$$

где  $\lambda_{ijmn}^*$ ,  $s_{ijmn}^* = \lambda_{ijmn}^{*-1}$  – соответственно тензоры эффективных модулей упругости и упругих податливостей.

Согласно уравнениям (5–8), эффективные постоянные упругого древесно-цементного композитного материала могут быть определены на основе решения простейшей задачи о напряженно-деформированном состоянии в микроточках макрообъема при условии, что он находится в условиях однородного статического нагружения, т. е.

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \text{const}, \langle \varepsilon_{ij} \rangle = \text{const}.$$

В этом случае уравнение сохранения импульса (5) удовлетворяется тождественно, а при условии, что жесткое перемещение и вращение равны нулю, из соотношений Коши (7) следует

$$\langle u_i \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j. \quad (9)$$

*Постановка задачи.* Пусть макрообъем линейно-упругого древесно-цементного композитного материала стохастической структуры находится в условиях заданных однородных макронапряжений  $\langle \sigma_{ij} \rangle$  или макродеформаций  $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$ . Задача о напряженно-деформированном состоянии в микроточках



тела сводится к уравнениям [2] равновесия

$$\sigma_{ij,j} = 0; \quad (10)$$

соотношениям упругости

$$\sigma_{ij} = \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn}; \quad (11)$$

и соотношениям Коши

$$\varepsilon_{ij} = u_{(i,j)}; \quad (12)$$

где тензор упругих модулей  $\lambda_{ijmn}$  является заданной случайной функцией координат.

В уравнениях (10–12) по повторяющимся индексам ведется суммирование, а индекс после запятой означает дифференцирование по соответствующей координате.

Подставляя (11), (12) в (10), приходим к стохастическим дифференциальным уравнениям относительно перемещений

$$(\lambda_{ijmn} u_{m,n})_{,j} = 0, \quad (13)$$

при этом граничные условия на поверхности макрообъема при условии, что жесткое перемещение и вращение равны нулю, имеют вид

$$u_{i,s} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j. \quad (14)$$

Из соотношений Коши (3) следует уравнение совместности микродеформаций

$$e_{ijp} e_{mnq} e_{jnpq} = 0, \quad (15)$$

где  $e_{ijp}$  – единичный антисимметричный тензор [5].

Если соотношения (11) подставить в уравнение совместности деформаций (15), то приходим к стохастическим дифференциальным уравнениям относительно напряжений

$$e_{ijp} e_{mnq} (s_{jnrs} \sigma_{rs})_{,pq} = 0, \quad (16)$$

удовлетворяющим граничным условиям

$$\sigma_{ij} n_j |_{s} = \langle \sigma_{ij} \rangle n_j, \quad (17)$$

где  $n_j$  – направляющие косинусы нормали к поверхности.

Тензорное поле модулей упругости  $\lambda_{ijmn}$  принимаем статистически однородным, поэтому микронапряжения  $\sigma_{ij}$  и микродеформации  $\varepsilon_{ij}$  будут также статистически однородными. Так как масштаб корреляции случайных полей  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  пренебрежимо мал по сравнению с размерами макрообъема, то они удовлетворяют свойству эргодичности, т. е. осреднение случайных полей по области определения совпадает со статистическим осреднением по ансамблю реализации. В этом случае выполняются равенства

$$\begin{aligned} \langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \rangle &= \langle \lambda_{ijmn} \rangle; \quad \langle \sigma_{ij}^{(1)} \rangle = \langle \sigma_{ij} \rangle; \\ \langle \varepsilon_{ij}^{(1)} \rangle &= \langle \varepsilon_{ij} \rangle; \quad \langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \varepsilon_{pq}^{(1)} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{pq} \rangle; \\ \langle s_{ijmn}^{(1)} \sigma_{pq}^{(1)} \rangle &= \langle s_{ijmn} \sigma_{pq} \rangle. \end{aligned} \quad (18)$$

Здесь слева – статистические средние в точке, справа – статистические средние по макрообъему. Следует отметить, что ансамбль реализаций представляет собой совокупность полей для большого количества макрообъемов, находящихся в одинаковых условиях внешнего воздействия и имеющих один и тот же вид структуры.

Методы решения краевых задач (13), (14), (16–18) идентичны, поэтому рассмотрим задачу в перемещениях. Представим случайные поля  $\lambda_{ijmn}$ ,  $\sigma_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  в виде сумм математических ожиданий и флуктуаций

$$\begin{aligned} \lambda_{ijmn} &= \langle \lambda_{ijmn} \rangle + \lambda_{ijmn}^0, \\ \sigma_{ij} &= \langle \sigma_{ij} \rangle + \sigma_{ij}^0, \quad \varepsilon_{ij} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + \varepsilon_{ij}^0. \end{aligned} \quad (19)$$

Тогда, проводя статистическое осреднение соотношений упругости (11) и учитывая равенства (18), получаем

$$\begin{aligned} \langle \sigma_{ij} \rangle &= \langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \varepsilon_{mn}^{(1)} \rangle = \\ &= \langle \lambda_{ijmn} \rangle \langle \varepsilon_{mn} \rangle + \langle \lambda_{ijmn}^{0(1)} \varepsilon_{mn}^{0(1)} \rangle. \end{aligned} \quad (20)$$

Из (20) следует, что для определения эффективных упругих постоянных необходимо из краевой задачи (13), (14) найти одноточечные моменты второго порядка  $\langle \lambda_{ijmn}^{(1)} \varepsilon_{mn}^{(1)} \rangle = \langle \lambda_{ijmn} \varepsilon_{mn} \rangle$  или  $\langle \lambda_{ijmn}^{0(1)} \varepsilon_{mn}^{0(1)} \rangle = \langle \lambda_{ijmn}^0 \varepsilon_{mn}^0 \rangle$  как функции математических ожиданий деформаций  $\langle \varepsilon_{ij}^{(1)} \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle$ .

Представляя вектор перемещений в виде суммы математического ожидания и флуктуации

$$u_i = \langle u_i \rangle + u_i^0 \quad (21)$$

и учитывая, что для статистически однородных деформаций имеет место равенство

$$\langle u_i \rangle = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j, \quad (22)$$

получаем

$$u_i = \langle \varepsilon_{ij} \rangle x_j + u_i^0. \quad (23)$$

Подставляя (23) в уравнение (13), приведем его к виду

$$\lambda_{ijmn}^c u_{m,nj}^0 + [(\lambda_{ijmn} - \lambda_{ijmn}^c) \varepsilon_{mn}]_{,j} = 0. \quad (24)$$

Здесь  $\lambda_{ijmn}^c$  – некоторый тензор модулей упругости с независимыми от координат компонентами, называемый тензором модулей упругости тела сравнения.

Из соотношений (14), (23) следует, что на границе макрообъема флуктуации перемещений должны обращаться в нуль

$$u_{i,s}^0 = 0. \quad (25)$$

Поскольку макрообъем древесно-цементного композитного материала сущес-

твенно превосходит размеры структурных элементов, то занимаемую им область можно рассматривать как бесконечную. Поэтому задача о напряженно-деформированном состоянии макрообъема древесно-цементного композитного материала сводится к решению стохастического дифференциального уравнения (24) для бесконечной области при условии, что на бесконечности выполняется условие

$$u^0|_{i\infty} = 0. \quad (26)$$

Если воспользоваться тензорной функцией Грина, удовлетворяющей дифференциальному уравнению

$$\lambda_{ijmn} G_{mk,jn}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) + \delta(x_i^{(1)} - x_i^{(2)})\delta_{ik} = 0, \quad (27)$$

то, подставляя (25), (27) в соотношение взаимности Бетти, приходим к интегральному соотношению

$$u_i^{0(1)} = \int_{v^2} G_{ip}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) (\lambda_{pqmn}^{(2)} \varepsilon_{mn}^{(2)})_{,q} dv^{(2)}; \quad (28)$$

$$\lambda_{pqmn}^{(2)'} = \lambda_{pqmn}^{(2)} - \lambda_{pqmn}^c.$$

Подставим (28) в соотношения Коши (12) и проведем интегрирование по частям. Тогда получим стохастические интегральные уравнения относительно деформаций

$$\varepsilon_{ij}^{(1)} = \langle \varepsilon_{ij} \rangle + K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \lambda_{pqmn}^{(2)} \varepsilon_{mn}^{(2)} \quad (29)$$

или флуктуаций деформаций

$$\varepsilon_{ij}^{0(1)} = K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) (\langle \varepsilon_{mn} \rangle + \varepsilon_{mn}^{0(2)}). \quad (30)$$

Здесь действие интегрального оператора  $K_{ijpq}$  определяется равенством

$$K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} = \int_{v^{(2)}} G_{(ip,j)q}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} \times \\ \times dv^{(2)} + \int_{s^2} G_{(ip,j)q}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) n_q^{(2)} \varphi^{(2)} ds^{(2)}, \quad (31)$$

где  $s$  – бесконечно удаленная граница области  $v$ ;  $n_q$  – направляющие косинусы нормали к ней.

Если учесть, что интегрирование по бесконечно удаленной границе вследствие эргодичности поля деформаций эквивалентно статистическому осреднению, то соотношение (31) можно привести к виду

$$K_{ijpq}(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varphi^{(2)} = \int_{v^{(2)}} G_{(ip,j)q}(x_i^{(1)} - \\ - x_i^{(2)}) \varphi^{0(2)} dv^{(2)}, \quad \varphi^{0(2)} = \varphi^{(2)} - \langle \varphi \rangle. \quad (32)$$

*Метод условных моментов.* Статистическая нелинейность уравнений в дифференциальной (24) или интегральной (29), (30)

формах не позволяет построить их решения в замкнутом виде в общем случае. Поэтому для упрощения решения задачи воспользуемся методом приближенного решения – методом условных моментов [5].

Используемый в трехслойных конструкциях древесно-цементный материал представляет собой трехкомпонентный композит  $n = 3$ , состоящий из цементного камня, древесного заполнителя и пор. Состав такого композита характеризуется следующими объемными концентрациями компонентов и тензорами модулей упругости соответственно  $c_k = \Delta v_k / \Delta v$ ,  $\lambda_k$  ( $k = 1, 2, 3$ ). Одноточечная плотность распределения упругих характеристик такого материала имеет вид

$$f(\lambda) = \sum_{k=1}^3 c_k \delta(\lambda - \lambda_k), \quad (33)$$

где  $\delta(\lambda - \lambda_k)$  – дельта функция Дирака.

Совместная плотность распределения упругих характеристик и деформаций, согласно теореме умножения вероятностей, определяется равенством [3]

$$f(\lambda|\varepsilon) = f(\lambda) f(\varepsilon|\lambda), \quad (34)$$

где  $f(\varepsilon|\lambda)$  – плотность распределения упругих деформаций в некоторой точке древесно-цементного композита при условии, что в ней тензор модулей упругости принимает определенное значение.

Усредняя закон Гука (11) и учитывая (33), (34), получаем

$$\langle \sigma \rangle = \sum_{k=1}^3 c_k \lambda_k \langle \varepsilon_k \rangle, \quad (35)$$

где  $\langle \varepsilon_k \rangle$  – математическое ожидание тензора деформаций в точке при условии, что она находится в компоненте  $k$ .

Вследствие эргодичности системы  $\langle \varepsilon_k \rangle$  равно среднему по компоненту  $k$  тензору деформаций. Из (35) следует, что для определения тензора эффективных модулей упругости необходимо найти  $\langle \varepsilon_k \rangle$  как функцию  $\langle \varepsilon \rangle$ .

Запишем уравнение (30) в безиндексной форме

$$\varepsilon^{0(1)} = K(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \lambda'^{(2)} (\langle \varepsilon \rangle + \varepsilon^{0(2)}). \quad (36)$$

Представим уравнение (36) в виде

$$\varepsilon^{(1)} = \langle \varepsilon \rangle + K(x_i^{(1)} - x_i^{(2)}) \varepsilon^{(2)} \lambda'^{(2)} \quad (37)$$

и усредним его по условной плотности  $f(\varepsilon^{(1)}, \varepsilon^{(2)}, \lambda^{(2)}|_{v^{(1)}})$  (плотность распределения деформаций в точках  $x^{(1)}, x^{(2)}$  и модулей упругости

в точке  $x^{(2)}$  при условии, что в точке  $x^{(1)}$  находится  $v$ -компонент). В результате получим систему уравнений

$$\langle \varepsilon_v \rangle = \langle \varepsilon \rangle + K(x^{(1)} - x^{(2)}) \sum_{k=1}^3 f_k^{(2|v^{(1)})} \times \lambda'_k \langle \varepsilon_k^{(2|v^{(1)})} \rangle, \quad (v = 1, 2, 3), \quad (38)$$

где  $f_k^{(2|v^{(1)})}$  – вероятность нахождения точки  $x^{(2)}$  в  $k$ -компоненте при условии, что точка  $x^{(1)}$  находится в  $v$ -компоненте;

$\langle \varepsilon_k^{(2|v^{(1)})} \rangle$  – математическое ожидание тензора деформаций в точке  $x^{(2)}$  при условии, что точка  $x^{(2)}$  находится в  $k$ -компоненте, а точка  $x^{(1)}$  – в  $v$ -компоненте.

Для определения условных двухточечных моментов  $\langle \varepsilon_k^{(2|v^{(1)})} \rangle$  усредним уравнение (37) по условной плотности  $f(\varepsilon^{(1)}, \varepsilon^{(2)}, \lambda^{(2)} | \varepsilon^{(1)})$ . В результате получим

$$\langle \varepsilon_{v,k}^{(1|v^{(1)})} \rangle = \langle \varepsilon \rangle + K(x^{(1)} - x^{(3)}) \sum_{r=1}^3 f_r^{(2|v^{(1)}, k)} \lambda'_r \langle \varepsilon_{r,v,k}^{(2|v^{(1)}, k)} \rangle, \quad (k, v = 1, 2, 3). \quad (39)$$

Продолжая этот процесс, получаем систему уравнений относительно условных моментов

$$\langle \varepsilon_{v_1} \rangle, \langle \varepsilon_{v_1, v_2}^{(1|v_1, v_2)} \rangle, \dots, \langle \varepsilon_{v_1, v_2, v_3}^{(1|v_1, v_2, v_3)} \rangle, \quad (v_1, v_2, v_3 = 1, 2, 3). \quad (40)$$

Замыкание этой системы может быть осуществлено путем обрыва процесса на некотором шаге. Можно взять, например, одно из условий

$$\langle \varepsilon_{v_1, v_2, v_3}^{(1|v_1, v_2, v_3)} \rangle = 0, \quad \langle \varepsilon_{v_1, v_2, v_3}^{(1|v_1, v_2, v_3)} \rangle = \langle \varepsilon \rangle, \quad \langle \varepsilon_{v_1, v_2, v_3}^{(1|v_1, v_2, v_3)} \rangle = \langle \varepsilon_{v_1} \rangle. \quad (41)$$

Для решения полученной системы необходимо задать условные многоточечные плотности распределения компонентов древесно-цементного композита  $f_{v_1}^{(1|v_2^{(2)})}$ ,  $f_{v_1, v_2, v_3}^{(1|v_2^{(2)}, v_3^{(3)})}$ , которые могут быть найдены либо экспериментально по фотографиям сечений композита, либо теоретически, задавая распределения размеров структурных элементов в различных сечениях.

Если ограничиться двухточечным приближением, т.е. считать известными только

условные плотности  $f_{v_1}^{(1|v_2^{(2)})}$ , то достаточно рассмотреть уравнение (38). Для его замыкания целесообразно принять третье условие из (41), что соответствует пренебрежению флуктуаций деформаций в пределах каждого компонента. В этом случае приходим к системе алгебраических уравнений относительно средних по компонентам деформаций

$$\langle \varepsilon_v \rangle = \langle \varepsilon \rangle + \sum_{k=1}^3 K_{vk} \cdot \lambda'_k \langle \varepsilon_k \rangle \quad (v = 1, 2, 3), \quad (42)$$

где матрица  $K_{vk}$  определяется равенством

$$K_{vk} = K(x^{(1)} - x^{(2)}) p_{vk}(x^{(1)} - x^{(2)}), \quad p_{vk}(x^{(1)} - x^{(2)}) = f_k^{(2|v^{(1)})}. \quad (43)$$

Система уравнений (42) является более точной по сравнению с выражениями одноточечного приближения [4, 5]. Действительно, положим  $\hat{K}(x) p_{vk}(x) = 0$ , где  $\hat{K}(x)$  определяется соотношением

$$K(x^{(1)} - x^{(2)}) \langle \lambda^{0(1)n} (\lambda^{0(2)} + \langle \lambda \rangle - \lambda^c) (\langle \varepsilon \rangle + \varepsilon^{0(2)}) \rangle = K(0) \langle \lambda^{0(1)n} (\lambda^{0(1)} + \langle \lambda \rangle - \lambda^c) (\langle \varepsilon \rangle + \varepsilon^{0(1)}) \rangle + K(\infty) \langle \lambda^{0(1)n} (\lambda^{0(2)} + \langle \lambda \rangle - \lambda^c) (\langle \varepsilon \rangle + \varepsilon^{0(2)}) \rangle + \hat{K}(x^{(1)} - x^{(2)}) \langle \lambda^{0(1)n} (\lambda^{0(2)} + \langle \lambda \rangle - \lambda^c) (\langle \varepsilon \rangle + \varepsilon^{0(2)}) \rangle. \quad (44)$$

Тогда уравнение (42) примет вид

$$\langle \varepsilon_v \rangle = \langle \varepsilon \rangle + K(0) \sum_{k=1}^3 (\delta_{vk} - c_k) (\lambda_k - \lambda^c) \langle \varepsilon_k \rangle. \quad (v = 1, 2, 3). \quad (45)$$

Умножив (45) на  $c_v \lambda_v^m$  и проведя суммирование по  $v$ , приходим к бесконечной системе алгебраических уравнений относительно одноточечных моментов

$$\langle \lambda^{0n} \varepsilon^0 \rangle = K(0) [\langle \lambda^{0n+1} \rangle \langle \varepsilon \rangle + \langle \lambda^{0n+1} \varepsilon^0 \rangle + (\langle \lambda \rangle - \lambda^c) \langle \lambda^{0n} \varepsilon^0 \rangle - \langle \lambda^{0n} \rangle \langle \lambda^0 \varepsilon^0 \rangle], \quad (n = 1, 2, 3). \quad (46)$$

Наряду с более высокой точностью и возможностью описывать эффективные свойства древесно-цементных композитов метод условных моментов позволяет также вычислять средние деформации их компонентов, что является основой для прогнозирования прочности древесно-цементных материалов.

Для решения уравнений (42) необходимо задать условную двухточечную плотность распределения  $p_{vk}(x^{(1)} - x^{(2)}) = f_k^{(2|v^{(1)})}$ , которая в среднем характеризует форму и расположение структурных элементов, а также тензор модулей упругости тела срабатывания

$\lambda^c$ . Наличие последнего в уравнениях двухточечного (42) и одноточечного (46) приближений обусловлено пренебрежением моментов более высокого типа. Условная плотность распределения  $p_{vk}(x^{(1)} - x^{(2)})$  может быть найдена либо экспериментально по фотографиям сечений древесно-цементного композита, либо теоретически по заданным распределениям размеров структурных элементов в различных сечениях.

Выбором тензора  $\lambda^c$  во многом определяется близость вычисленного тензора эффективных модулей упругости  $\lambda^*$  к его истинному значению. В работе [4] показано, что при  $\lambda^c = 0$  приходим к приближению Рейсса, при  $\lambda^c = \infty$  – приближению Фойхта. Полагая  $\lambda^c$  равным тензору модулей упругости компонента древесно-цементного композита с максимальной и минимальной жесткостью, приходим соответственно к верхней и нижней границам Хашина – Штрикмана.

Физические соображения и сравнение с результатами, полученными нами другими

методами, показывают, что в случае матричной структуры древесно-цементного композита, когда жесткость заполнителя меньше жесткости матрицы, (цементного камня) целесообразно принять  $\lambda^c = \langle \lambda \rangle$ .

#### Библиографический список

1. Запруднов, В.И. Прочность и деформации древесно-цементных материалов и трехслойных конструкций на их основе / В.И. Запруднов. – М.: МГУЛ, 2004. – 283 с.
2. Лурье, Л.И. Теория упругости / Лурье Л.И. – М.: Наука, 1970. – 940 с.
3. Механика композитных материалов и элементов конструкций: в 3 т. – Т. 1. Механика материалов / под ред. Л. П. Хорошуна. – Киев: Наук. думка, 1982. – 368 с.
4. Савин, Г.Н. К вопросу об упругих постоянных стохастически армированных материалов. В кн. «Механика сплошной среды и родственные проблемы анализа» / Г.Н. Савин, Л.П. Хорошун. – М.: Наука, 1972. – С. 437–444.
5. Хорошун, Л.П. Статистическая механика и эффективные свойства материалов / Л.П. Хорошун, Б.П. Маслов, О.М. Шикла и др. – Киев: Наукова думка, 1993. – 390 с.

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА И ДРУГИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ БИОРЕСУРСОВ

В.В. ЛОЗОВЕЦКИЙ, *проф. каф. транспорта леса МГУЛ, д-р техн. наук,*  
 А.А. ШАДРИН, *проф. каф. ТОЛП МГУЛ, д-р техн. наук,*  
 В.В. ЛЕБЕДЕВ, *доц. каф. инженерных систем РГУТИС, канд. техн. наук,*  
 И.В. СТАТКЕВИЧ, *асп. каф. инженерных систем РГУТИС,*  
 Ю.А. МАРКОВА, *асп. каф. ТОЛП МГУЛ*

*lozovetsky@mail.ru, shadrin@mgul.ac.ru, voval\_matr@mail.ru*

**Р**астительные отходы сельского хозяйства, отходы участков лесоразработок по заготовке древесины, очистке лесных территорий, а также деревообрабатывающих производств, твердые бытовые отходы (ТБО) являются, с одной стороны, факторами вторичного загрязнения окружающей среды, связанными с продуктами биологического разложения органосодержащих компонентов отходов, а с другой стороны, могут представлять потенциальные источники энергии при условии организации эффективных энерготехнологических процессов их переработки.

В качестве примера можно привести разработку энерготехнологического процесса добычи и утилизации биогаза, генерируемого в толще полигона ТБО и отходов органического происхождения.

Неконтролируемое образование биогаза на полигонах для размещения твердых бытовых отходов (ТБО) представляет серьезную экологическую проблему. ТБО содержат около 30 % органических отходов, которые подвержены анаэробной биоферментации в толще захоронения, где нет достаточного поступления кислорода воздуха. Одна тонна ТБО

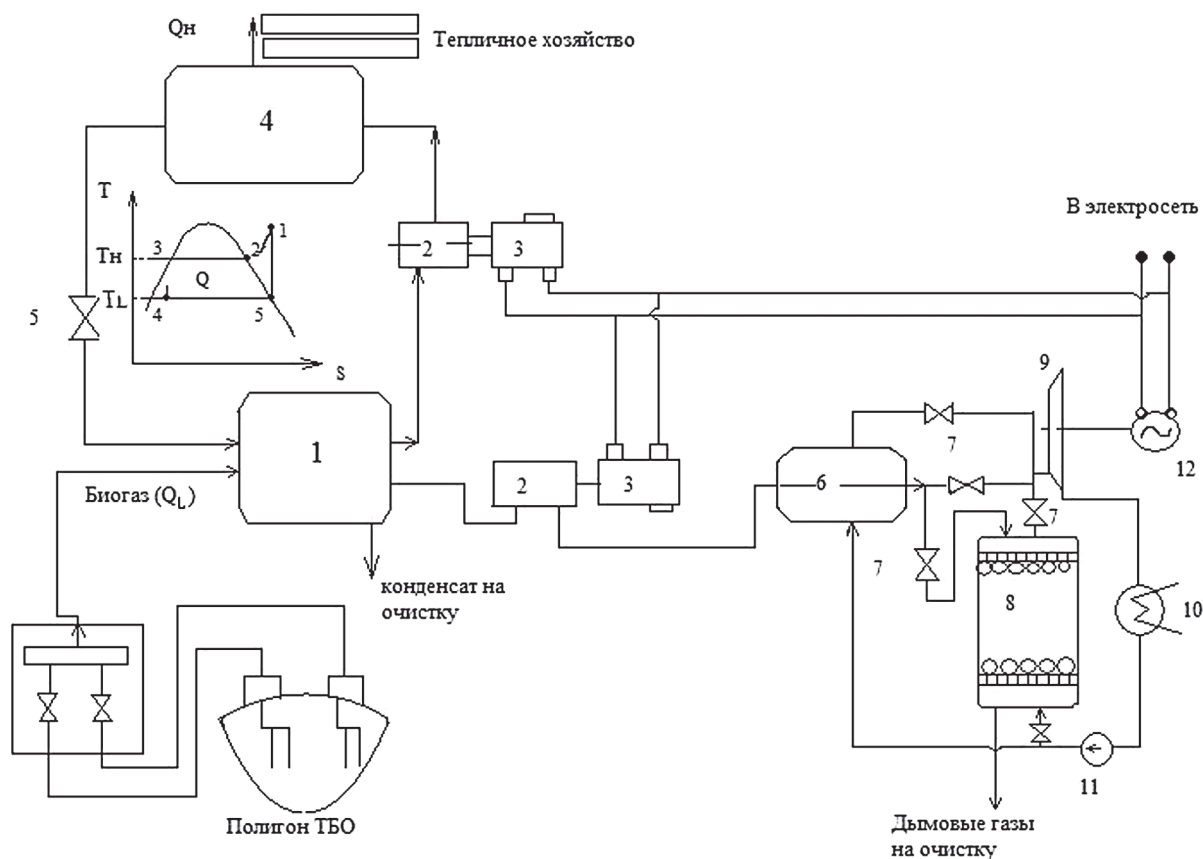


Рис. 1. Схема установки для реализации биогаза как возобновляемого источника энергии: 1 – теплообменник; 2 – компрессор; 3 – электродвигатель; 4 – теплообменник; 5 – дроссельный клапан; 6 – камера сгорания; 7 – клапан; 8 – теплообменник-регенератор; 9 – турбина; 10 – конденсатор; 11 – насос; 12 – генератор

при этом способна произвести до 200–300 м<sup>3</sup> биогаза. Биогаз представляет смесь «парниковых» газов: примерно 30–40 % углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и 60–70 % метана (CH<sub>4</sub>), причем метан превышает по парниковому действию диоксид углерода в несколько раз.

Объемы захоронений ТБО огромны: примерно на одного городского жителя в РФ приходится 600 кг в год. ТБО, накопленные на планете всего за один год, могут быть источником неконтролируемых выделений в атмосферу до нескольких сотен миллиардов кубометров «парниковых» газов. Биогаз из ТБО на полигонах может генерироваться в процессе биохимического анаэробного разложения захороненного органического вещества в течение 30 лет.

Биогаз является часто причиной возгорания на полигонах. Возгорания являются источниками вторичного загрязнения атмосферы дымовыми газами, которые часто содержат высокотоксичные компоненты, являющиеся продуктами горения или термического

разложения компонентов, входящих в состав ТБО. Кроме того, смеси кислорода (O<sub>2</sub>) воздуха и метана (CH<sub>4</sub>) биогаза (около 15 % об. в смеси с воздухом) в замкнутых объемах взрывоопасны.

Таким образом, развитие добычи и утилизации полигонного газа является актуальным не только как путь вовлечения альтернативных возобновляемых источников энергии, но и как эффективное мероприятие по защите окружающей природной среды.

В работе [1] представлен проект комплексной утилизации энергии биогаза, который генерируется на специально оборудованном полигоне, рис. 1. Газодобывающее и теплоэнергетическое оборудование полигона спроектировано для утилизации образующегося биогаза объемом 645 м<sup>3</sup>/час в расчете на получение тепловой мощности в количестве 2,5 МВт в теплоэнергетической электрогенерирующей установке (ТЭС).

Добываемый биогаз имеет температуру 25–40°С и загрязнен увлекаемыми попут-

но испарениями фильтратов полигона, и поэтому перед утилизацией должен подвергаться осушке путем охлаждения при сопутствующей конденсации выпаров.

Повышение энергетической эффективности предложенной схемы достигается, во-первых, установкой теплообменника-регенератора 8, имеющего термоаккумулирующую загрузку сферических графитовых элементов, и, во-вторых, установкой теплового насоса для утилизации низкопотенциальной тепловой энергии, которая образуется при охлаждении и осушении биогаза, поступающего на ТЭС с полигона.

Биогаз охлаждается в теплообменнике 1, который является холодильником теплового насоса. При этом происходит конденсация паров и осушение биогаза, после чего он подается по системе трубопроводов в камеру сгорания или паровой котел, и далее в паровую турбину для получения электроэнергии или для аккумулирования теплоты в теплообменник-регенератор 8 и последующего использования в режиме пиковых нагрузок.

Преобразование с помощью тепловых насосов низкопотенциальной тепловой энергии биогаза позволяет снижать потребление ископаемого топлива. Получаемая в тепловом насосе горячая вода в данном случае используется для теплоснабжения расположенного рядом с полигоном тепличного хозяйства.

Были проведены исследования энергетической эффективности применения парокompрессионных и воздушных теплонасосных циклов. Для получения горячей воды заданной температуры, в том числе и перегретой (выше 100°C), после теплообменника 4 теплового насоса в схему получения горячей воды включен дополнительно газовый подогреватель.

Коэффициент преобразования парокompрессионного теплового насоса быстро снижается с увеличением разности температур конденсации и испарения рабочего тела, что обычно ограничивает верхнюю температуру цикла, поэтому для получения стабильно высокой температуры применяют подогреватель с прямым сжиганием биогаза. При этом часть биогаза не используется в ТЭС.

Для определения оптимальных значений температуры конденсации, которые будут определять, в свою очередь, температуру теплоносителя на выходе из конденсатора теплового насоса и на входе в перегреватель, применяли функцию коэффициента энергоэффективности для модернизированной схемы [2]

$$K_{\text{эфф}}^{\text{мод}} = \frac{\Delta Q + Q_{\text{RH}}}{L_{\text{K}} + Q_{\text{RH}}} = 1 + \frac{(\varepsilon_x + 1) \cdot \eta_{\text{ТЭ}} \cdot \eta_{\text{ЭМ}} - 1}{1 + (\varepsilon_x + 1) \cdot \eta_{\text{ТЭ}} \cdot \eta_{\text{ЭМ}} \cdot \frac{T_{\text{HW}} - T_2 + \theta_{\text{C}}}{T_2 - \theta_{\text{C}} - T_{\text{CW}}}}, \quad (1)$$

где  $\Delta Q$  – разница между количеством тепловой энергии, генерируемой в теплонасосном цикле ( $Q_{\text{H}}$ ), и количеством тепловой энергии, которую необходимо затратить в теплоэлектрогенерирующем цикле для получения электрической работы привода компрессора теплового насоса;

$L_{\text{K}}$  – полезная механическая работа на приводном валу компрессора;

$\varepsilon_x$  – холодильный коэффициент теплонасосного цикла;

$\eta_{\text{ТЭ}}$  – КПД теплоэлектрогенерирующей установки;

$\eta_{\text{ЭМ}}$  – КПД преобразования энергии в электроприводе компрессора из электрической в механическую;

$Q_{\text{RH}}$  – первичная тепловая энергия, затрачиваемая в перегревателе;

$T_{\text{CW}}, T_{\text{HW}}$  – температуры холодной воды и получаемой горячей воды;

$\theta_{\text{C}}$  – минимальный перепад температур в конденсаторе теплового насоса;

$T_2$  – максимальная температура цикла.

Коэффициент эффективности характеризует эффект использования первичного топлива (в рассматриваемом случае – биогаза) при применении теплонасосного цикла в целях теплофикации. Положительные значения коэффициента эффективности свидетельствуют в пользу применения тепловых насосов. При отрицательных значениях коэффициента эффективности целесообразно применять другие технологические решения.

На рис. 2 представлены результаты моделирования с использованием функции

коэффициента энергоэффективности (1) предложенной теплофикационной схемы. Температуру холодной воды задавали 15 °С, а температуру получаемой горячей воды после перегревателя 100 °С. Наблюдается экстремальный характер функции коэффициента эффективности: максимальное значение достигается при  $\eta_{ТЭ} = 75\%$  при температуре конденсации (максимальная температура рабочего тела в парокompрессионном цикле) около 60 °С, при 45 % около 45 °С. Очевидно, эти значения более приемлемы с технической точки зрения. Практически равнозначны варианты с прямым сжиганием биогаза в газовом водонагревателе или с отбором части высокопотенциального теплоносителя (пара) из ТЭГУ. Интересен вариант с использованием тепла дымовых газов в перегревателе для повышения общей энергоэффективности.

Теплопроизводительность парокompрессионного теплового насоса в области изменения рабочих параметров лежит в диапазоне от 5 до 21 кВт. Количество получаемой горячей воды – от 0,1 до 0,4 м<sup>3</sup>/час. Объемная производительность компрессора теплового насоса, которая определяет массогабаритные параметры машины, в области изменения рабочих параметров находится в диапазоне от 20 до 100 м<sup>3</sup>/час. Мощность привода компрессорной установки лежит в диапазоне от 2 до 13 кВт.

Использование атмосферного воздуха в качестве рабочего тела в тепловых насосах перспективно в силу доступности и экологической безопасности этого природного ресурса. Воздух практически не загрязняется, циркулируя в аппаратах теплового насоса, его количество не уменьшается. Следовательно, в воздушных циклах мы наблюдаем полностью экологически безопасный круговорот атмосферного воздуха как рабочего тела.

Воздух как рабочее тело в этом случае имеет давление, как правило, ниже критического (~3,7 МПа), а температуру выше критической (~-140 °С). В этой области рабочих давлений и температур эффективно применение адиабатических процессов расширения для получения низких температур. Результаты наших расчетов: в области исследуемых

параметров (давление от 1 до 500 бар, температура от 140 до 600 К) подтверждают, что температурный эффект при изоэнтروпийном расширении превосходит температурный эффект при дросселировании (изоэнтальпийном расширении) примерно в 250 раз.

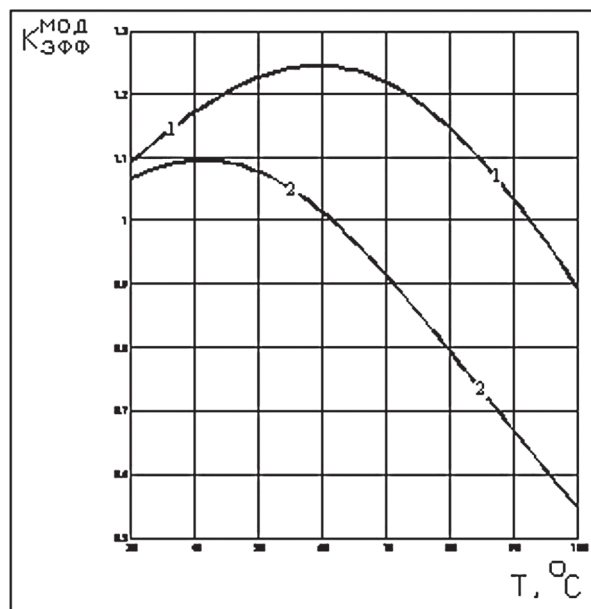


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента энергоэффективности от температуры конденсации. График 1–1 – соответствует  $\eta_{ТЭ} = 75\%$ ; график 2–2 – соответствует  $\eta_{ТЭ} = 45\%$

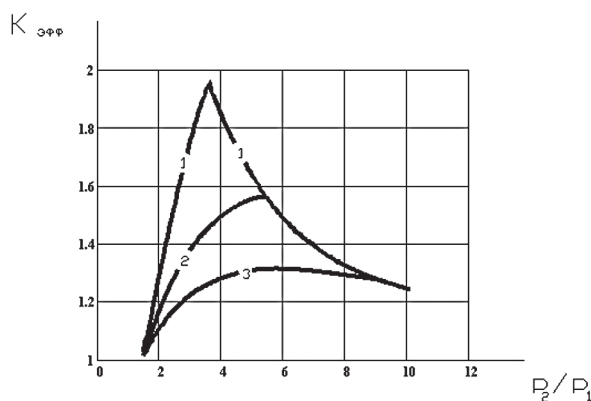


Рис. 3. Зависимость коэффициента энергетической эффективности теплонасосной схемы получения перегретой горячей воды заданной температуры с помощью воздушного теплового насоса: 1–1 – температура получаемой воды 100 °С; 2–2 – температура получаемой воды 150 °С; 3–3 – температура получаемой воды 220 °С. Максимальная температура воздуха в теплонасосном цикле на 20 °С выше температуры получаемой воды. КПД энергетической установки  $\eta_{ТГУ} = 75\%$ . Электромеханический КПД теплового насоса  $\eta_{ЭМ} = 80\%$

Технически такие процессы реализуют в воздушных холодильных машинах, работающих по вакуумным турбохолодильным циклам. Как правило, эти циклы разомкнуты по рабочему телу: воздух всасывается из атмосферы и сбрасывается после завершения цикла обратно примерно при тех же параметрах. В качестве аппаратов для сжатия и расширения воздуха применяются турбокомпрессоры и турбодетандеры, установленные на общем валу.

Нами была исследована энергетическая эффективность применения воздушных тепловых насосов с использованием функции энергетической эффективности (1) для теплофикационной схемы с получением фиксированной температуры горячей воды. Энергетическая эффективность зависит от отношения давлений воздуха в рабочем цикле теплового насоса, т.е. от отношения давления после сжатия в турбокомпрессоре к давлению после расширения в турбодетандере. Результаты расчетов при различной температуре получаемой воды представлены на рис. 3.

На графике видно, что максимальная энергоэффективность достигается при определенном отношении давлений, диапазон ограничен значениями  $3,5 > p_2/p_1 > 5,5$ . Максимум энергоэффективности увеличивается и смещается влево (в сторону снижения отношения давлений) со снижением заданной температуры получаемой горячей воды. В

указанном диапазоне отношений давления холодильный коэффициент цикла находится в диапазоне  $1,5 < \epsilon < 2,5$ , а коэффициент преобразования тепловой энергии теплового насоса  $4,5 < \mu = \epsilon + 1 < 5,5$ .

Для проектируемой теплофикационной установки расчетное количество низкопотенциальной тепловой энергии в среднем составляет 10 кВт. В этом случае в указанном диапазоне отношения рабочих давлений воздуха в цикле мощность, затрачиваемая на привод теплового насоса, будет находиться в пределах от 4 до 6 кВт. Количество получаемой горячей воды составит примерно до 50 дм<sup>3</sup>/час. Расход воздуха в контуре теплового насоса составит примерно 200–300 м<sup>3</sup>/час.

Высокий практический эффект может быть получен в области комплексного применения различных видов альтернативных возобновляемых энергоисточников и вторичных энергетических ресурсов.

#### Библиографический список

1. Лозовецкий, В.В. Биогаз – продукт полигонного захоронения отходов и возобновляемый источник энергии / В.В. Лозовецкий, М.В. Малышев Е.В., Г.С. Дугин // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – М: ВИНТИ, 2010. – № 1.
2. Лозовецкий, В.В. Применение тепловых насосов при добыче и утилизации биогаза на полигонах ТБО / В.В. Лозовецкий, В.В. Лебедев, Е.В. Малышев // Транспорт на альтернативном топливе, 2010. – № 3.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ДЕРЕВЬЕВ НА ПОРАЖЕННЫХ ПОЖАРОМ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Ю.А. ШИРНИН, *проф. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ,*

И.В. ЗВЕРЕВ, *асп. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ,*

А.Ю. МОЖАНОВ, *асп. каф. технологии и оборудования лесопромышленных производств МарГТУ*

*shirninya@marstu.net*

В настоящее время на Земле ежегодно возникает около 200 тыс. лесных пожаров, причем число их год от года возрастает. Леса занимают третью часть территории земного шара, но продуцируют 2/3 всей фитомассы суши и являются главным фактором сохра-

нения глобального экологического баланса и нормальной жизненной среды человечества [3].

Вред, который они приносят человечеству, огромен. При лесных пожарах повреждается или полностью уничтожается рас-





Рис. 1. Последствия пожара 2010 г. в Республике Марий Эл

тущий лес вместе с подростом, подростом и травяным покровом (рис. 1). В связи с этим утрачивается источник получения древесины и резко снижаются водоохранно-защитные и санитарно-гигиенические свойства леса.

Засушливые годы с лесными пожарами на территории Центральной России и в Сибири довольно часто наблюдались в начале XX в., что нашло широкое отражение в периодической печати. Так, сообщалось, что в 1908 г. леса вдоль сибирской железной дороги горели от Красноярска до Томска; что осенью 1910 г. огневой вал прокатился по лесам Дальнего Востока; что от грандиозных пожаров 1912–1914 гг. сильно пострадали леса северных и центральных губерний и что, наконец, в 1915 г. лесными пожарами была охвачена вся Средняя Сибирь при площади пожаров как минимум 12,5 млн га.

Крупными были пожары в 1921 г. Засуха 1972 г. охватила всю европейскую часть страны. В результате только за 10 дней (с 26 августа по 5

сентября) пожарами было охвачено больше лесов, чем за предыдущие 10 лет. [3]

В 2010 г. согласно официальной сводке Федерального агентства лесного хозяйства РФ площадь лесного фонда, пройденная лесными пожарами на землях центральных регионов Европейской России, в Поволжье и на Урале составила около 470 тыс. га. В целом в РФ площадь, пройденная лесными пожарами в 2010 г., составила 1,246 млн га. Реальная площадь, пройденная пожарами на землях лесного фонда и в лесах на землях других категорий, составляет, по предварительной оценке, не менее трех млн га. [4] В результате лесных пожаров в РФ расчетная лесосека 2010–2011 г. увеличилась за счет пораженных пожаром лесных территорий более чем в 10 раз.

#### **Разработка пораженных пожаром лесных территорий**

Очередность разработки пораженных пожаром лесных территорий определяется в первую очередь опасностью возникновения

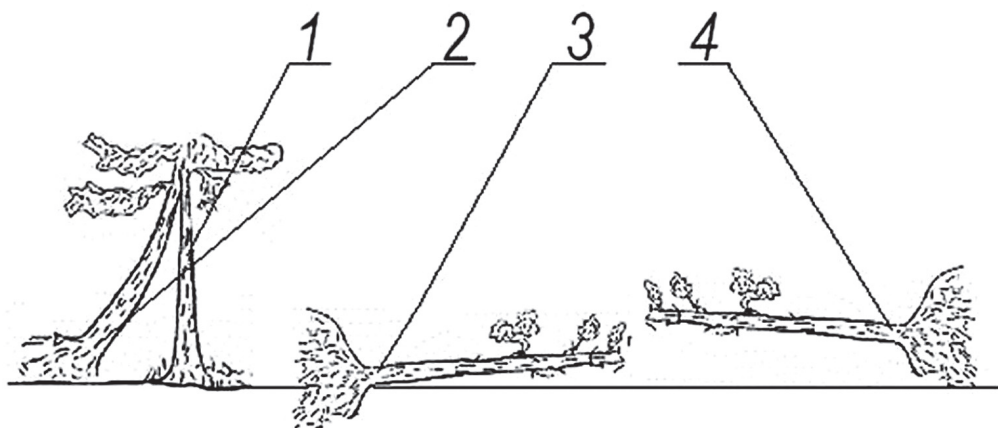


Рис. 2. Размещение деревьев в пространстве после пожара

очагов вредителей и болезней леса, а также продолжительностью сохранения товарных свойств древесины. Для максимального использования древесного запаса поврежденного огнем леса, имея в виду различные темпы утраты древесиной своих технических свойств, прежде всего разрабатываются товарные еловые гари, затем – сосновые. Во вторую очередь вырубается усохшие и усыхающие древостои, также сначала еловые, а затем сосновые. Во всех случаях при проведении рубок необходимо учитывать, чем раньше после пожара заготавливается древесина, тем выше ее качество. Поэтому в ельниках и березниках рубку их необходимо проводить не позже первого года, а в сосняках – не позднее второго года после пожара.[2, 3]. При-

меняемые способы разработки пораженных пожаром лесных территорий [1, 5, 7] энергоемки, трудоемки, несут в себе повышенную опасность для рабочих и лесной среды. Для обоснования новых способов и технических средств разработки пораженных пожаром лесных территорий целесообразно изучить положение деревьев после пожара

Цель данной работы – выявить закономерность пространственного размещения пораженных пожаром деревьев на лесных территориях. Для разработки пораженных пожаром деревьев их можно разделить на 4 группы (рис. 2): 1 – стоящие деревья, которые необходимо свалить с помощью бензопилы или другим доступным способом и только потом трелевать; 2 – зависшие деревья, их перед трелевкой необходимо столкнуть с дерева, на котором оно зависло и только потом освободить корневую систему (отпилить или выкорчевать в зависимости от степени сцепления корневой части с грунтом); 3 – упавшие деревья, ствол которых следует отделить от оставшейся в почве корневой системы (КС); 4 – упавшие деревья, у которых перед трелевкой необходимо не связанную с грунтом КС отпилить.

Для количественной оценки каждой группы пораженных пожаром деревьев были проведены экспериментальные исследования, в частности, использован метод пробных площадок, расположенных в шахматном порядке. На территории Куярского лесничества РМЭ в пораженных пожаром кварталах 79, 80, 98, в 2011 г. размечался участок 200 м<sup>2</sup>, который

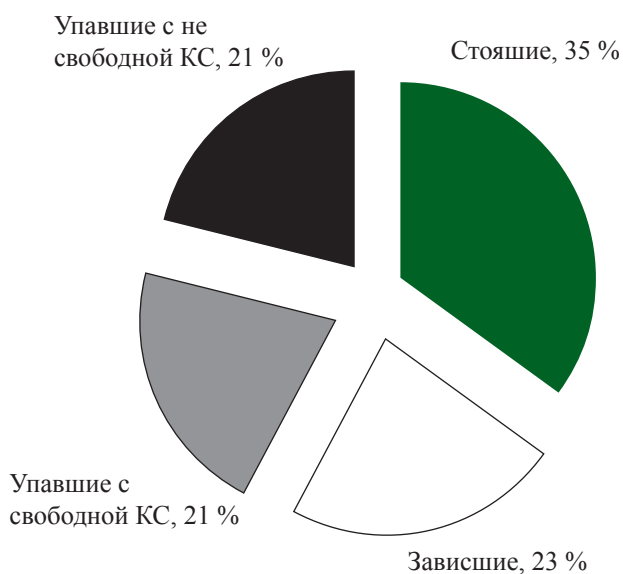


Рис. 3. Диаграмма распределения пространственного расположения деревьев

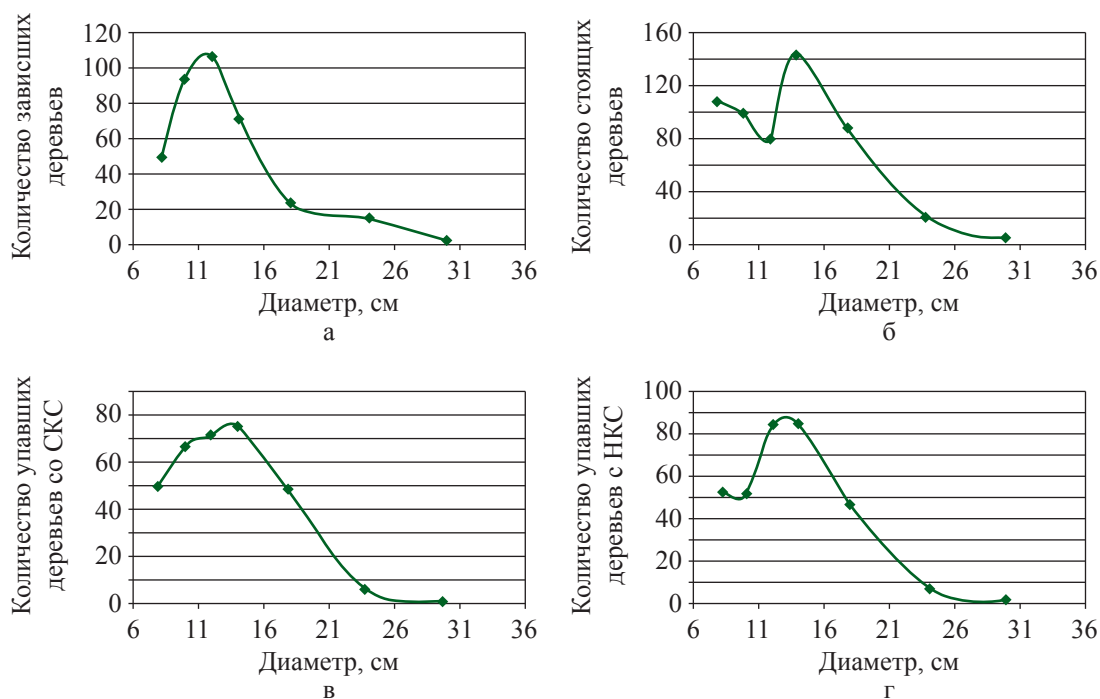


Рис. 4. График плотности распределения от диаметра: а – зависших деревьев, б – стоящих деревьев, в – упавших деревьев со свободной КС, г – упавших деревьев и не свободных КС

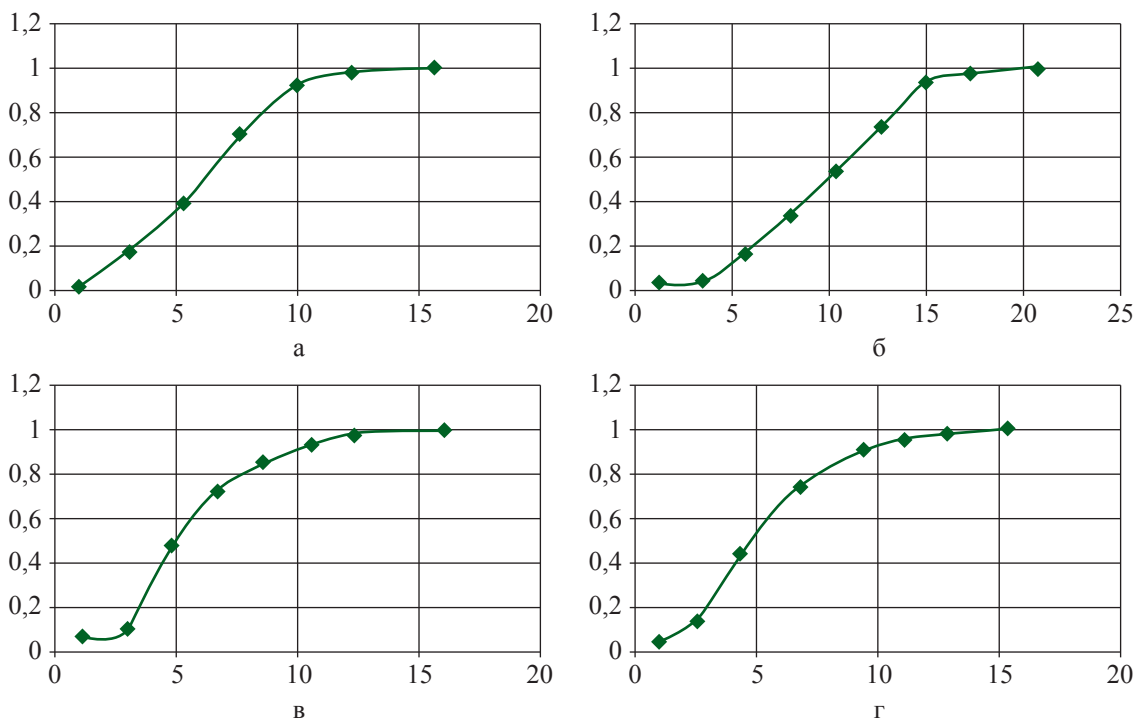


Рис. 5. Графики распределения вероятностей: а – зависших деревьев, б – стоящих деревьев, в – упавших деревьев со свободной КС, г – упавших деревьев и не- свободных КС

разбивался на пробные площадки по 20 м<sup>2</sup>. Для измерения деревьев использовались: буссоль-высотометр, вилка для измерения диаметра дерева, рулетка. Общее количество исследуемых деревьев составило 1547 шт. Исследо-

ванию подверглись деревья сосны, березы и других пород (незначительная часть от общего количества). Исследуемые деревья были разделены в зависимости от их расположения в пространстве на четыре группы: стоящие, за-

Результирующие статистические данные с 50 пробных площадок

Параметр	Стоящие	Зависшие	Со свободной КС	С несвободной КС
всего деревьев	545	358	320	317
$t_{max.}$	23	18	19	17
$t_{min.}$	0	0	0	0
$m$	10,9	7,16	6,4	6,34
$S^2$	19,24	10,42	12,51	13,60

висшие, упавшие со свободной КС и упавшие с несвободной КС. Процентное соотношение групп деревьев представлено на диаграмме рис. 3. На рис. 4 представлены графики плотности распределения 4-х групп деревьев в зависимости от диаметров в комле.

В таблице приведены результирующие статистические данные о группах деревьев с 50-ти пробных площадок:  $t_{max.}$ ,  $t_{min.}$  – максимальное и минимальное количество деревьев данной группы на исследуемых площадках;  $m$  – математическое ожидание числа деревьев на пробной площадке;  $S^2$  – дисперсия.

Статистическая обработка велась по методике, изложенной в [8]. На основе данных таблицы построены графики распределения вероятностей групп деревьев, представленных на рис. 5.

Таким образом, лесные пожары являются регулярно повторяющейся объективной реальностью. Исходя из условий непрерывного, неистощительного лесопользования с той же реальностью, пораженные древостои должны убираться, а на расчищаемых площадях возобновляться лесные насаждения.

Проведенные исследования пораженных пожаром деревьев позволяют оценить существующие средства и технологические процессы заготовки древесины и очистки пораженным пожаром территорий.

В результате экспериментальных исследований выявлено, что в пораженных пожаром древостоях отмечено четыре группы расположения деревьев в пространстве: стоящие, зависшие, упавшие со свободной КС и упавшие с несвободной КС.

При таком расположении необходимы новые способы и технические средства для проведения лесозаготовительных работ.

Для разработки пораженных пожаром лесных территорий рекомендуется способ и машина, заявленные в патенте [6].

Научно-исследовательская работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по контракту № 16.515.11.5053.

### Библиографический список

1. Гаврилов, И.И. Технология лесозаготовок и лесорасчистительных работ в древостоях, пораженных пожаром. Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. / Гаврилов И.И. – Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. – С. 18–25.
2. Демаков, Ю.П. Лесоводство. Ведение хозяйства в лесах, поврежденных пожарами: учеб. пос. / Ю.П. Демаков, К.К. Калинин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 136 с.
3. Денисов, А.К. Состояние горельников и их ликвидация в Марийской АССР. Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. / Денисов А.К. – Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. – С. 34–43.
4. Лесной форум Гринпис России <http://www.forestforum.ru/viewtopic.php?f=9&t=7539&view=unread>
5. Москвичев, Н.П. На пути ликвидации последствий лесных пожаров / Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. / Н.П. Москвичев. – Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. – С. 14–18.
6. Патент №2357407, РФ МКИ А 01 G 23/00. Способ и машина для трелевки / Ширнин Ю.А., Ширнин А.Ю. Багатырева Е.А., Аказова О.В. – Оpubл. 27.12.2008
7. Тресцов, Б.И. Леса Марийской АССР и ликвидация лесных пожаров 1972 г. Проблемы ликвидации последствий лесных пожаров 1972 г. / Б.И. Тресцов. – Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. –С. 5–14.
8. Хартман, К. Планирование эксперимента в исследованиях технологических процессов / К. Хартман, Э. Лецкий, В Шефер. – М.: Мир, 1977 – 552 с.

## ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

М.Д. ГИРЯЕВ, *зав. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, д-р с.-х. наук*

*caf-lesustr@mgul.ac.ru*

За последние 20 лет в Российской Федерации были приняты три федеральных закона, регулирующих лесные отношения:

– Основы лесного законодательства РФ – 1993 г.

– Лесные кодексы РФ – 1997 г., 2006 г.

Такой активности в «совершенствовании» лесного законодательства не было за 214 лет истории управления лесами России. Более того, каждый федеральный лесной закон вносил кардинальные, не связанные между собой изменения в сферу регулирования лесных отношений. Это привело к неоднократному радикальному реформированию государственного управления лесами и дестабилизации работы лесопромышленного комплекса России.

Согласно Лесному кодексу РФ (2006), существенно изменились полномочия федеральных органов власти и государственных органов власти субъектов Российской Федерации в вопросах лесопользования и организации лесопользования. Именно осуществление этих двух основных полномочий органами государственной власти субъектов Российской Федерации определяет эффективность использования лесных ресурсов, в том числе и проблему незаконных рубок.

Опыт последних лет реализации этих полномочий позволяет сделать определенные выводы.

Рассмотрим особенности проведения аукционов по продаже права на заключение договоров купли-продажи лесных насаждений и договоров аренды лесных участков для заготовки древесины. По нашему мнению, ряд статей Лесного кодекса РФ, определяющих организацию проведения таких аукционов, содержит коррупционную составляющую.

Так, статья 19 Лесного кодекса РФ устанавливает, что при размещении заказа на выполнение работ по охране, защите, воспроизводству лесов одновременно осуществляет-

ся продажа лесных насаждений для заготовки древесины. В этих целях заключается договор купли-продажи лесных насаждений для заготовки древесины, как правило, на уровне минимальной ставки за единицу объема древесины, установленной Правительством Российской Федерации. Ежегодный объем заготовки древесины в целом по России по таким договорам рубками ухода и санитарным рубками составляет от 20 до 30 млн м<sup>3</sup>. Видимо, законодатель, принимая ст. 19 в данной редакции, считал необходимым поддержать государственные лесхозы в условиях жесткого их реформирования. Комментируемая норма закона способствует реализации варианта договоренности между продавцом и покупателем; позволяет реализовывать на рынке значительный объем древесины по демпинговым ценам; препятствует развитию фермерства на муниципальном уровне по ведению узкоспециализированного лесного хозяйства физическими и юридическими лицами (рубки ухода в молодняках, создание лесных культур, отводы лесосечного фонда, выращивание посадочного материала в лесных питомниках и другое). Кроме того, отводы лесосечного фонда под различные виды рубок производят юридические лица, выигравшие аукцион и, как правило, они же осуществляют заготовку древесины по этим материалам согласно договорам купли-продажи. Такая практика организации ведения лесного хозяйства и лесопользования создает предпосылки появления на рынке незаконно заготовленной древесины. Содержание данной статьи противоречит части 8.2 статьи 29 Лесного кодекса РФ, в которой сказано, что в исключительных случаях, предусмотренных законами субъектов Российской Федерации, допускается осуществление заготовки древесины для обеспечения государственных нужд на основании договоров купли-продажи лесных насаждений. Как представляется в статье 19 Лесного кодекса РФ, необходимо исключить

норму, что при размещении заказа на выполнение работ по охране, защите, воспроизводству лесов одновременно осуществляется продажа лесных насаждений для заготовки древесины. В целях повышения эффективности выполняемых лесохозяйственных мероприятий, сохранения и поддержки специалистов лесного хозяйства необходимо в Лесном кодексе РФ предусмотреть, что все работы по охране, защите и воспроизводству лесов в неарендованных лесных участках проводят специализированные государственные бюджетные и автономные учреждения, подведомственные органам исполнительной власти субъектов Российской Федерации, по государственным контрактам.

Содержание статьи 78 Лесного кодекса РФ противоречит сути рыночных отношений и прямо способствует развитию «договорных» отношений в организации лесопользования. Указанная статья устанавливает, что в случае, если договор аренды лесного участка не заключен (он заключается по результатам аукциона путем повышения начальной цены предмета аукциона), то есть участниками аукциона не повышалась начальная цена, допускается проведение нового аукциона и заключается договор аренды такого участка, предусматривающий начало срока внесения арендной платы по истечении первых 5 лет.

Появление данной нормы в Лесном кодексе РФ вызвано, видимо, тем, что законодатель предполагал, что экономически доступных и рентабельных древостоев для заготовки древесины в России значительно больше, чем запросы будущих арендаторов. Однако это далеко не так. В настоящее время (и ранее) спрос на рынке на лесные участки под заготовку древесины, рекреационное пользование на правах аренды опережает предложение арендодателей. Более того, если применять комментируемую статью во взаимосвязи со статьей 79, где сказано, что начальная цена предмета аукциона может быть на уровне минимального размера или выше его, «шаг» аукциона составляет от 1 до 5 %, а размер задатка для участников аукциона от 10 до 100 % от начальной цены аукциона, то возникает вопрос, какие же арендные отношения

могут выстраиваться в субъектах Российской Федерации.

Для полного понимания ответа на этот вопрос рассмотрим содержание статьи 80 Лесного кодекса РФ. В части 7 данной статьи сказано, что аукцион признается несостоявшимся в случае, если в аукционе участвовали менее чем два участника. Тем не менее, часть 8 статьи 80 прямо указывает, что в случае, если аукцион признан несостоявшимся по причине, указанной в части 7 настоящей статьи, единственный участник аукциона не позднее, чем через 10 дней после дня проведения аукциона, обязан заключить договор купли-продажи лесных насаждений или договор аренды лесного участка. Орган государственной власти, по решению которого проводился аукцион, не вправе отказаться от заключения с единственным участником аукциона соответствующего договора по начальной цене предмета аукциона.

Из содержания комментируемых статей Лесного кодекса РФ следует, что реализация норм статей 78, 79 и 80 не только способствует развитию коррупции в организации лесопользования, но и приводит к значительной потере лесного дохода от продажи древесины на корню в федеральный и региональные бюджеты.

Завершая анализ особенностей проведения аукционов по продаже права на заключение договора аренды лесного участка, необходимо особо подчеркнуть, что согласно статье 72 Лесного кодекса РФ и статье 621 Гражданского кодекса РФ арендатор по истечении срока действия арендного договора (49 лет) имеет преимущественное право на заключение договора аренды на новый срок (без проведения аукциона).

Таким образом, арендатор, добросовестно исполнивший договор аренды лесного участка, может осуществлять лесопользование на нем как минимум в течение 98 лет.

Рассмотрим итоги по Российской Федерации передачи лесных участков в аренду.

По данным Рослесхоза на 01.01.2011 г., арендные отношения имеют следующую характеристику.

Число заключенных договоров аренды лесных участков – 35,6 тыс. шт., в том числе:

- рекреационная деятельность – 28 %;
- выполнение работ по геологическому изучению недр – 26 %;
- заготовка древесины – 19 %;
- строительство и эксплуатация линейных объектов – 19 %;
- ведение сельского хозяйства – 5 %;
- осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства – 2 %.

Распределение заключенных договоров аренды лесных участков по площади:

- заготовка древесины – 80 %;
- осуществление видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства – 15 %.

Обращает внимание небольшое количество заключенных договоров аренды для осуществления видов деятельности в сфере охотничьего хозяйства (2 %) и значительная площадь лесных участков, переданная в аренду для этого вида использования. Дело в том, что согласно Постановлению Правительства Российской Федерации ставка платы за единицу площади арендуемого лесного участка для указанного вида деятельности составляет 3 копейки за 1 га. По нашему мнению, требуется внесение изменений в Постановление Правительства Российской Федерации в части значительного увеличения этой ставки.

Площадь лесов, переданных в аренду для заготовки древесины, в 12 субъектах Российской Федерации превышает 50 % их общей площади. При этом в Республике Марий-Эл она составляет 93 %, в Курганской области – 85 %, Ленинградской – 80 %, Приморском крае – 79 %. Соответственно: в 10 субъектах РФ – до 50 % (Удмуртская республика – 47 %, Ярославская область – 46 %, Владимирская – 45 %, Калужская – 44 %); в 10 субъектах Российской Федерации – до 40 % (Пермский край, Алтайский край, Костромская область – 38 %, Псковская область – 37 %); в 12 субъектах РФ – до 30 % (Тюменская область – 26 %, Магаданская обл., Еврейская АО, Курская область – 25 %, Свердловская область – 24 %).

Можно сделать вывод, что в большинстве субъектов Российской Федерации в организации заготовки древесины абсолютно преобладают арендные отношения.

Площадь лесных участков, переданных в аренду, и по договорам купли-продажи для заготовки древесины в целом по Российской Федерации составляет 210 млн га. Из расчетной лесосеки по России (644 млн м<sup>3</sup>) установленный в 2010 г. ежегодный объем заготовки древесины – 330 млн м<sup>3</sup>, в том числе:

- арендаторам – 212 млн м<sup>3</sup> (64 %);
- по приоритетным инвестиционным проектам на условиях аренды лесных участков – 70 млн м<sup>3</sup> (21 %);
- по договорам купли-продажи – 48 млн м<sup>3</sup> (15 %).

Интенсивная передача лесных участков в аренду для заготовки древесины после принятия Лесного кодекса РФ привела к тому, что в большинстве субъектах Российской Федерации все экономически доступные и рентабельные древостои вовлечены в лесопользование. Свободных лесосырьевых ресурсов для развития новых современных производств по глубокой переработке древесины практически нет.

Вместе с тем, реализация арендных отношений принципиально не обеспечила резкого увеличения объемов заготовки древесины и ее глубокой переработки (2008 г. – заготовлено 168 млн м<sup>3</sup>, 2009 г. – 165 млн м<sup>3</sup>, 2010 г. – 176 млн м<sup>3</sup>).

По данным Рослесхоза (2012), стоимость 110 утвержденных инвестиционных проектов составляет 410 млрд руб. Из 110 инвестиционных проектов 21 связан с производством пиломатериалов, 13 – с получением фанеры, 50 – с деревообработкой, 14 – с выпуском плит MDF, ДСП, OSB, древесных гранул и 12 – с производством целлюлозно-бумажной продукцией. Реализовано лишь 24 проекта на сумму 69 млрд руб. Из 70 млн м<sup>3</sup> древесины, закрепленной за инвесторами, в 2010 г. заготовлено 18 млн м<sup>3</sup>.

Таким образом, приоритетные инвестиционные проекты пока не оказали существенного влияния на увеличение объемов заготовки древесины и, главное, на ее глубокую переработку и развитие лесной инфраструктуры.

Россия является мировым лидером по объему запасов древесины – 82 млрд м<sup>3</sup>. Бразилия по запасам древесины занимает вто-



Рис. 1. Россия является мировым лидером по запасам древесины (Рослесхоз, 2011)



Рис. 2. Россия занимает четвертое место в мире по объемам заготовки древесины (Рослесхоз, 2011)

рое место 81 млрд м<sup>3</sup>. В США произрастает 35 млрд м<sup>3</sup> древесины, в Канаде – 33, Китае – 13, Швеции – 3, Финляндии – 2 млрд м<sup>3</sup> (рис. 1). Однако, по объемам ежегодной заготовки древесины Россия лишь на четвертом месте в мире – 176 млн м<sup>3</sup>. США, имея запасы

насаждений в 2,5 раза меньше, чем Россия, ежегодно заготавливает древесины в 3 раза больше (541 млн м<sup>3</sup>). Бразилия – 290 млн м<sup>3</sup>, Канада – 223 млн м<sup>3</sup> древесины.

Обращает внимание, что суммарный ежегодный объем заготовки древесины Шве-



ции и Финляндии (140 млн м<sup>3</sup>) близок к российскому (рис. 2).

По данным Всемирного фонда дикой природы (WWF, 2009), фактическая ежегодная заготовка древесины в странах зарубежной Европы составляет 504 млн м<sup>3</sup>, а в европейской части России – 66 млн м<sup>3</sup>. При этом запасы древесины на корню сопоставимы: страны зарубежной Европы – 27 млрд м<sup>3</sup>, европейская часть России – 23 млрд м<sup>3</sup> [1].

Рассмотрим экономические аспекты организации лесопользования и, в первую очередь, арендных отношений.

Средняя ставка арендной платы за 1 м<sup>3</sup> древесины, отпускаемой на корню, составила в 2010 г. – 52 руб., соответственно по приоритетным инвестиционным проектам – 17 руб., по договорам купли-продажи – 61 руб.

Следует особо подчеркнуть, что согласно ст. 73 Лесного кодекса РФ размер арендной платы в договоре аренды лесного участка определяется по установленному отпуску древесины, а не по фактическому объему ее заготовки. Установленный арендаторам (в том числе и по инвестиционным проектам) ежегодный объем заготовки древесины составляет 282 млн м<sup>3</sup>, а фактическая заготовка в 2010 г. – 95 млн м<sup>3</sup>. При этом арендаторы ежегодно вносят арендную плату за 282 млн м<sup>3</sup>.

Определение размера арендной платы по установленному отпуску древесины является определяющим фактором низкой эффективности арендных отношений:

- в связи с вырубкой, в основном, высокопродуктивных сосновых насаждений происходит ухудшение показателей лесов на арендуемом участке и, по нашему мнению, фактическое снижение лесного дохода, так как арендная плата рассчитывается арендодателем с учетом наличия на лесном участке малоценных древостоев и низких разрядов такс;

- проведение лесовосстановительных, противопожарных мероприятий, рубок ухода в молодняках сконцентрировано в зоне лесозаготовок, где имеются лесные дороги. На остальной арендуемой территории лесное хозяйство ведется в минимальных объемах;

- арендатором может допускаться скрытая переуступка прав на заготовку, не

вовлеченной в рубку древесины, другим юридическим лицам по более высокой цене, чем арендная плата.

Обращает внимание крайне низкая ставка платы за древесину на корню по инвестиционным проектам (17 руб. за 1 м<sup>3</sup>). Инвестору лесной участок предоставляется в аренду под заготовку древесины без аукциона, а арендная плата устанавливается на период строительства промышленных объектов в размере 50 % от минимальной ставки (34 руб. за 1 м<sup>3</sup>).

Такая практика организации арендных отношений привела к резкому сокращению лесного дохода от продажи древесины на корню. Так, лесной доход, поступивший в бюджетную систему, составил в 2010 г. 15,4 млрд руб., а бюджетные затраты на ведение лесного хозяйства – 18,2 млрд руб., в 2009 г. соответственно 16,5 и 21,3 млрд руб.

Приведем показатели работы Лесного Департамента России в казенных лесах в 1913 году:

- площадь казенных лесов – 120 млн га,
- число лесничеств – 1532,
- число объездчиков – 8000,
- число лесников (обходчиков) – 24000,
- произведено лесных культур – 88,3 тыс. га,
- продано древесины на корню на торгах – 88,8 млн м<sup>3</sup>,
- получен лесной доход – 96,2 млн руб.,
- затрачено средств на ведение лесного хозяйства – 31,9 млн руб.,
- кроме того на проведение лесокультурных работ за счет лесокультурных залогов, выплаченных лесозаготовителями – 2,2 млн руб. [2].

С 1917 до 1930 гг. в России были сохранены лесничества как органы лесоуправления и организаторы лесопользования. С 1925 по 1929 годы осуществлялась продажа на торгах древесины на корню. Например, в 1926 г. на торги было выставлено около 51 млн м<sup>3</sup> древесины на сумму 41,6 млн руб. Фактически от продажи, предъявленной к торгам древесины, было получено 88,2 млн руб., т.е.

в 2,1 раза больше. В.Я. Колданов (1992) отмечает, что в это время удельный вес попенной платы в себестоимости заготовки 1 м<sup>3</sup> древесины круглого леса был равен 33 %.

Рассмотрим характеристику системы лесоуправления в России в 1929 году – последнего года работы лесничеств как территориальных органов управления лесами:

- лесничих – 2074;
- помощников лесничих – 2460;
- служащих в лесничествах 3020;
- объездчиков – 9272;
- лесников – 32216;
- отпуск древесины на корню – 187 млн м<sup>3</sup>;
- лесной доход – 211 млн руб.;
- операционные расходы на ведение лесного хозяйства – 53 млн руб.;
- капитальные вложения на лесное хозяйство – 32,5 млн руб. [3].

По данным В.Я. Колданова (1992), в общем доходе Российской Федерации доля от лесов составляла: в 1925 г. – 22,5 %, в 1926 г. – 23,5 %, в 1927 г. – 17 %. В абсолютных величинах лесной доход в СССР покрывал собой всю сумму финансирования из государственного бюджета на просвещение, науку, искусство, он был больше суммы на здравоохранение, охрану труда и социальное обеспечение вместе взятых и составлял 1/3 затрат на оборону страны [4].

Сравнительный анализ систем лесоуправления различных периодов развития нашей страны позволяет сделать вывод, что существующая организация лесопользования характеризуется крайне низкой доходностью. Более того, можно констатировать, что в целом современное лесное хозяйство Российской Федерации – «банкрот» по отношению к федеральному и региональным бюджетам. Рыночная система организации лесопользования, реализованная в развитии статей Лесного кодекса РФ, с точки зрения доходности от использования лесов, являющихся федеральной собственностью, несостоятельна.

Вместе с тем необходимо отметить, что в последние годы арендаторы увеличили объемы создания лесных культур за собственный счет. Если в 2007 г. ими было заложено

56 тыс. га лесных культур из общего объема по Российской Федерации 196 тыс. га, то соответственно в 2009 г. – 80 тыс. га из 187 тыс. га, в 2010 г. – 93 тыс. га из 177 тыс. га лесных культур. По данным Рослесхоза, расходы арендаторов на ведение лесного хозяйства составили в 2008 г. – 1,9 млрд руб., в 2009 г. – 3,6 млрд руб., в 2010 г. – 8,9 млрд руб.

С учетом изложенного напрашивается вывод – в соответствии с новым Лесным кодексом РФ в России сформирован арендатор как стратегический партнер государства в использовании лесов и ведении лесного хозяйства.

Однако в организации проведения аукционов по продаже права аренды лесных участков и в реализации этих прав в субъектах Российской Федерации имеются серьезные проблемы, которые обусловлены несовершенством ряда статей Лесного кодекса РФ. Основными из них являются:

- экономически доступные и рентабельные древостои практически все вовлечены в лесопользование. Свободных лесосырьевых ресурсов для развития новых современных крупных производств по глубокой переработке древесины в Российской Федерации нет;
- современное лесное законодательство в организации арендных отношений имеет значительную коррупционную составляющую;
- лесное законодательство не предусматривает изменение объемов заготовки древесины в договорах аренды в связи с уточнением при лесоустройстве лесосырьевых ресурсов или отказом арендатора от части площадей арендованного участка (за исключением случая ликвидации чрезвычайной ситуации, вызванной лесными пожарами);
- определение размера арендной платы по установленному отпуску древесины, а не по фактическому объему ее заготовки является главным фактором низкой эффективности арендных отношений в лесопользовании.

В целях совершенствования лесопользования предлагается внести следующие изменения в Лесное законодательство РФ:

1. Исключить коррупционные составляющие статей 19, 78, 79, 80 Лесного кодекса РФ.

2. Предусмотреть возможность изменений объемов заготовки древесины в договоре аренды лесного участка после проведения лесоустройства в лесничестве за счет средств федерального бюджета.

3. Увеличить решением Правительства Российской Федерации минимальный размер платы за древесину и соответственно ежегодной арендной платы, как минимум, до 100 руб. за обезличенный кубометр древесины.

4. Установить, что размер арендной платы на заготовку древесины определяется по фактическому объему ее заготовки.

5. Определить процедуру внесения изменений, по согласованию сторон, в до-

говор аренды лесного участка в связи с отказом арендатора от части территории, переданной ему в аренду под заготовку древесины.

### Библиографический список

1. Карпачевский, М.Л. Основы устойчивого лесопользования: Учеб. пособие для вузов / М.Л. Карпачевский и др. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2009. – 143 с.
2. Результаты бывшего казенного лесного хозяйства к 1914 году. – СПб.: Политехн. ун-т, 2010. – 182 с.
3. Гиряев, М.Д. Лесопользование в России / М.Д. Гиряев. – М.: ВНИИЛМ, 2003. – 240 с.
4. Колданов, В.Я. Очерки истории советского лесного хозяйства / В.Я. Колданов. – М.: Экология, 1992. – 256 с.

## ЛЕСОУСТРОЙСТВО: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ

М.Д. ГИРЯЕВ, *зав. каф. лесоустройства и охраны леса МГУЛ, д-р с.-х. наук*

*caf-lesustr@mgul.ac.ru*

Отечественное лесоустройство неразрывно связано с возникновением и развитием лесопользования и лесопользования в России.

В Соборном уложении 1649 г. сформировано деление лесов не по видам собственности, а по принадлежности: вотчинные, помещные, общие, поверстные и засечные леса или оборонные.

Первой в России строго отграниченной площадью лесов Московского государства XVI–XVII вв. была засечная черта. Она проходила вдоль южной границы государства и включала засеки:

– Крымский фронт (южный): Рязанские, Каширские, Веневские, Тульские, Крапивенские, Одоевские, Лихвенские, Козельские и Белевские;

– Ногайский фронт (юго-восточный): Шацкие и Ряжские.

Обследование засечных лесов в середине XVII века осуществлялось путем:

- составления «дозорных книг засек»;
- межевания границ засечной черты;
- обследования растущего древостоя и выявление порубок леса, полей, покосов, пашен, укреплений и т. д.;

- составления на каждую засеку «карты-чертежа»;

• подготовки предложений по устройству на засеках по опушкам лесных завалов шириной 100 метров, а также по строительству в пределах засечных лесов – острогов, башен, проездных ворот, земляных рвов, надолбов и т. д.

Основные виды обследования засечных лесов, без преувеличения, можно отнести к элементам современного лесоустройства.

В 1723 г. Петр Великий ввел в действие «Инструкцию обервальдмейстеру» – свод нормативных актов о лесах. В параграфе 4 «Об описи заповедных лесов» сказано, что вальдмейстерам заповедных лесов в указанных верстах (верста = 1,1 км) дуб, ильм, вяз, ясень и толстая сосна, которая в отрубе от корня 12 вершков (около 50 см) и более, так и за указанными верстами – дуб, описать и ландкарты учинить.

Это фактически подготовка таксационного описания и лесоустроительных планшетов с территориальным размещением на них конкретных лесных насаждений.

В первом Уставе о лесах Российской империи (1802) в статье 7 установлено, что главный директор Лесного департамента обязан привести леса в известность, сохранить их от всего недозволенного опустошения и

получения от них дохода без потомственного оскуднения и отягощения народного. В развитие Устава были установлены обороты рубки: для высокоствольных лесов – 70–120 лет, для мягколиственных – 40–60 лет.

Первый нормативный документ, который определил цели и задачи лесоустройства в России, – «Инструкция об управлении лесной частью на горных хребтах Уральского, по правилам лесной науки и доброго хозяйства». Эта инструкция была составлена министром финансов России Е.Ф. Канкрином в 1830 г. и издана в 1833 г. В это время Лесной департамент входил в Министерство финансов России. В главе IV «О приведении лесов в известность» в параграфе 18 сказано: «Первый приступ ко всему правильному лесному хозяйству есть приведение лесов в надлежащую известность. Сюда принадлежит: 1) окружное межевание лесов; 2) топографическое описание или снятие внутренней ситуации; 3) статистическое описание лесов; 4) оценка или таксация лесов, заключающая настоящее изобилие лесов и сколько в продолжение времени, по годам, постепенно вырубать можно разных родов лесных материалов. Из сего открывается, что для приведения лесов в известность нужны карты и описание.

Примечание. Приведение в известность лесов, о коем говорится в этом параграфе, относится к видам науки и хозяйства, а не к межеванию в юридическом смысле».

Таким образом, Е.Ф. Канкрин в 1830 г. определил лесоустройство как вид науки и хозяйства. Применительно к указанной инструкции первые опытные лесоустроительные работы были выполнены в 1840 г. в Лисинской даче (ныне Лисинский лесхоз-техникум Ленинградской обл.).

Большой вклад в развитие и совершенствование отечественного лесоустройства внесли: Ф.К. Арнольд (1819–1902), А.Е. Теплоухов (1811–1885), А.Ф. Рудзский (1838–1901), М.М. Орлов (1867–1932). Основоположниками Российского лесоустройства была создана фундаментальная теоретическая основа лесной таксации и лесоустроительного проектирования, которая и сегодня является актуальной.

Создатель отечественной школы лесоустройства Ф.К. Арнольд отмечал – в таксаторы выбирали лучших воспитанников Лесного института, удерживали в таксационных партиях долго, попасть в них считалось за честь. В лесной среде говорилось, что в таксационных партиях собраны сливки всего Корпуса лесничих [1].

Классик Российской лесной науки, выдающийся ученый отечественного лесоустройства и лесной таксации М.М. Орлов так определил роль лесоустройства в лесоуправлении: «Лесоустройство без лесоуправления мертво, а лесоуправление без лесоустройства слепо. Они неразрывно связаны между собой; одно дополняет и подготавливает другое; хорошее лесоустройство облегчает лесоуправление; рациональное лесоуправление содействует лесоустройству» [2].

Необходимо особо подчеркнуть, что в Уставе лесном (1905) имеется отдельная глава «Об устройстве казенных лесов». В 33 статьях Устава изложены принципы организации и проведения лесоустроительных работ. В развитии Устава лесного разрабатывались инструкции, правила, рекомендации. С 1830 по 1914 гг. было издано 23 нормативно правовых документа, в том числе (автор А.Е. Теплоухов, 1848) «Руководство по лесоустройству помещичьих лесов для управителей, лесничих и землемеров».

Лесное законодательство до 1917 г. определяло следующую цель лесоустройства – составление плана правильного лесного хозяйства, ближайшей задачей которого является извлечение из леса постоянного наивысшего дохода (за счет продажи древесины на корню на торгах), но без истощения насаждений, улучшения роста леса и состава его по породам. В среднем, ежегодно, только в европейской части России за период с 1842 по 1908 гг. исследовалось и устраивалось по 835 тыс. десятин казенных лесов (1 дес. – 1,1 га), а с 1909 по 1913 гг. по 13 млн десятин, т.е. почти в 15 раз больше. Общая площадь казенных лесов, на 01.01.1914 г. составляла 336 млн десятин. Из них устроенных и исследованных – 120 млн дес. (34 %). Доля устроенных лесов Европейской России

– 70 %, на Кавказе – 15 %, Азиатской части – 20 %. Согласно утвержденному плану устройство и обследование всех казенных лесов предполагалось завершить к 1928 г. В 1913 г. лесной доход составил 96,3 млн руб. Расходы Лесного департамента – 35,5 млн руб., из них производственные – 24,5, в том числе на лесоустройство – 2 млн рублей или 8.1 % [3].

До 1929 г. в Советском Союзе были сохранены основные положения дореволюционного (1917) лесоустройства:

- объект лесоустройства – лесничество, лесная дача;
- основа лесоустройства – принцип непрерывности и неистощительности лесопользования и получение наивысшей доходности от устроенных лесов (за счет продажи древесины на корню на торгах);
- оборот рубки должен обеспечивать достижение равномерного распределения насаждений по классам возраста;
- улучшение породного состава и повышение продуктивности лесов.

В этот период лесоустроительные работы динамично развивались. В.Я. Колданов (1992) отмечает, что в 1924 г. площадь устроенных лесов достигла 1913 г.

С 1930 по 1946 гг. лесоустроительные работы в Советском Союзе почти полностью прекращены и были заменены лесоэкономическими обследованиями в интересах лесоэксплуатации. Вместо проекта лесоустройства составлялись перспективные и текущие планы лесозаготовок. Исключены принципы постоянства лесопользования и его доходности. Введена лесосека по спелости. Объем заготовки древесины определялся не расчетной лесосекой, а плановыми заданиями. Лесоустройство как научная дисциплина была исключена из учебной программы вузов (1931–1935). Известный организатор лесоустройства на Урале Н.И. Керженцев пишет: «...лесоустройство и проектирование полностью прекратило свое существование. Накопленный богатый опыт был утерян. Кадры лесоустроителей рассеялись по леспромпхозам, трестам, лесам местного значения и др. К 1936 г. лесное хозяйство, по существу, утратило свое лицо и служило не общегосу-

дарственным, а местным интересам лесной промышленности» [4].

По нашему мнению, данная характеристика лесоустройства 40-х гг. XX в. полностью отражает современные проблемы лесоустройства, лесопользования и организации лесопользования, обусловленные принятием Лесного кодекса РФ 2007 г.

После создания Всесоюзного объединения «Леспроект» (1947) лесоустройство восстановилось как государственная система и получила дальнейшее развитие на фундаментальных классических основах. В 1991 г. в составе В/О «Леспроект» функционировало 19 лесоустроительных предприятий, 58 лесоустроительных экспедиций и работало около 11 тыс. инженерно-технических специалистов. В 1956 г. все леса СССР приведены в известность: составлены государственный учет лесного фонда и лесные карты СССР. Среднегодовой объем лесоустроительных работ до принятия Лесного кодекса (2007 г.) в РФ составлял 35–45 млн га. Активно внедрялись дистанционные методы в лесной таксации с использованием аэрофотосъемки и космических снимков. Было создано программное обеспечение по обработке всей лесоустроительной информации на ЭВМ. С 1979 г. все счетно-вычислительные работы выполнялись только на ЭВМ. Это позволило внедрить в лесное хозяйство геоинформационную систему по созданию и ведению лесотаксационных и картографических баз данных.

Новый Лесной кодекс РФ (2007 г.) внес кардинальные изменения в структуру лесопользования и организацию лесопользования. И, главное, разрушил систему отечественного лесоустройства (таблица).

Согласно статье 68 Лесного кодекса РФ лесоустройство включает в себя шесть взаимно несвязанных проектных направлений, финансируемых из федерального бюджета, бюджета субъектов РФ и средств арендаторов.

Важное из них – таксацию лесов можно было проводить с 2007 г. только за счет средств арендатора. Это явилось следствием, что ежегодный объем лесной таксации был снижен с 45 млн га в 2006 г. до 5–10 млн га

### Характеристика систем лесоустройства в соответствии с лесным законодательством

Наименование	Классическая система лесоустройства	Система лесоустройства с 2007 года (лесная таксация)
Объект лесоустройства	Лесхоз. До 1930 г. – лесничество.	Арендный лесной участок. С 2012 г. – также лесничество
Лесоустроительная документация	Таксационные описания, планшеты, тематические лесные карты Обоснование возрастов рубок, хозяйственных частей, хозсекций Определение размера рубок главного пользования лесом (расчетная лесосека) Определение размера промежуточного пользования лесом Проектирование лесохозяйственных мероприятий Выявление и анализ последствий лесохозяйственной деятельности за прошедший ревизионный период Лесоустроительный проект организации и ведения лесного хозяйства	Таксационные описания, планшеты, тематические лесные карты
Юридическое лицо, осуществляющее лесоустройство	Государственные лесоустроительные организации	Частные структуры и государственные лесоустроительные организации
Порядок проведения лесоустройства	Заключение госконтракта	Проведение аукциона в соответствии с ФЗ-94 и заключение контракта
Источники финансирования лесоустройства	Федеральный бюджет. <u>Примечание</u> Ведение лесного хозяйства без проведения лесоустройства запрещается (Лесной кодекс РФ 1997 г.)	Средства арендатора, а с 2012 г. также федеральный бюджет и бюджет субъекта РФ

в 2007–2011 гг. Соответственно в 2011 г. давность материалов лесоустройства со сроком действия 10 лет составляет всего 19,2 %, 11–15 лет – 17,9 %, 16–20 лет – 34,6 %, свыше 20 лет – 28,3 % (Рослесхоз, 2012). Это привело к тому, что все документы лесного планирования – лесной план субъекта РФ, лесохозяйственный регламент лесничества, проект освоения лесов на арендуемых лесных участках – разрабатываются на материалах лесоустройства, сроки, действия которых в большинстве своем не отвечают нормативным требованиям. Качество материалов лесного планирования с каждым годом приближается к нулевой оценке. Более того, если арендатор проводит лесотаксационные работы за собственные средства на арендуемом лесном участке (как, впрочем, и за счет бюджетных средств по лесничеству), то в соответствии с Лесным кодексом РФ запрещается изменение объемов заготовки древесины в договорах

аренды лесных участков и соответственно в проектах освоения лесов.

Необходимо особо подчеркнуть, что установленный ежегодный объем заготовки древесины в договорах аренды лесных участков в целом по Российской Федерации составил 282 млн м<sup>3</sup>. Интенсивная за последние 5 лет передача лесных участков в аренду для заготовки древесины привела к тому, что экономически доступные и рентабельные древостои практически все вовлечены в лесоэксплуатацию.

Таким образом, новым Лесным кодексом РФ в организацию лесопользования была заложена ситуация, которая в настоящее время привела к тупику в рыночных отношениях по заготовке древесины. Например, на Дальнем Востоке реализуется 12 приоритетных инвестиционных проектов. В настоящее время в этом регионе выявлен дефицит лесосырьевых ресурсов в объеме 2 млн м<sup>3</sup> древесины

(Рослесхоз, 2012). Напомним, что в критерии отбора инвестпроектов включен показатель – объем капитальных вложений в заготовку и глубокую переработку древесины – на менее 12 млн долл. США.

Обостряет эту проблему то обстоятельство, что по данным Рослесхоза (2012 г.) более половины всех материалов лесного планирования в субъектах РФ разрабатывались не государственными лесоустроительными организациями, а частными структурами, не имеющими ни опыта этих работ, ни квалифицированных кадров лесоустроителей, ни актуализированных информационных баз данных.

Как следует из таблицы, с 2007 г. в состав лесоустроительных работ не включено обоснование возрастов рубок основных лесобразующих древесных пород, обоснование разделения лесов на хозяйственные части, хозсекции. И, главное, в функциях лесоустройства отсутствует понятие расчета размера лесопользования, установления видов и способов рубок, а также не проектируются объемы мероприятий по охране, защите и воспроизводству лесов в объекте лесной таксации.

Законодатель, исключая из Лесного кодекса РФ основные положения классического отечественного лесоустройства в организации лесопользования и трактуя лесоустроительные действия только с точки зрения получения таксационного описания, планшетов и лесных карт, не ответил на главный вопрос, статья 1 Лесного закона: кто, как и на какой информационной основе обеспечивает принцип многоцелевого, рационального, непрерывного, неистощительного использования лесов для удовлетворения потребностей общества в лесах и лесных ресурсах?

Лесное законодательство не предусматривает проведение лесоустройства в виде комплекса работ, выполняемых одновременно, как это вытекает из классического понятия о лесоустройстве. В результате отдельные важнейшие виды лесоустройства, например таксация лесов, могут быть по времени значительно оторваны от работ по проектированию использования лесов, мероприятий по охра-

не, защите и воспроизводству лесов, и более того, выполнены разными исполнителями. В связи с этим расчетная норма лесопользования и объемы проектируемых лесохозяйственных мероприятий окажутся нереальными, не соответствующими действительному состоянию лесов, так как нарушается связь проектировки во времени и пространстве.

Следует заметить, что на основе такой информации проводятся аукционы по продаже права аренды лесного участков до 49 лет, в договорах аренды устанавливаются конкретные объемы лесопользования, не подлежащие изменению в течение всего срока аренды (за исключением случая ликвидации чрезвычайной ситуации, вызванной лесными пожарами), а также разрабатывается проект освоения, лесной план субъекта РФ и лесохозяйственный регламент лесничества.

В связи с реформированием системы лесного хозяйства в большинстве субъектов РФ оказались невостребованными и не внедряются геоинформационные системы лесотаксационных и картографических баз данных, разработанные лесоустроительными организациями для 1300 лесхозов. В регионах прекращена подготовка специалистов лесного хозяйства и техническое оснащение рабочих мест лесничих по ведению и обновлению лесоустроительных таксационных и картографических баз данных в рамках ГИС технологий.

Дистанционный лесопожарный, лесопатологический мониторинги, мониторинг лесопользования на основе космических снимков высокого разрешения в последние годы ежегодно проводятся во всех эксплуатационных и экономически значимых лесах. Однако отсутствие плановых лесоустроительных работ по лесничествам за счет бюджетных средств не позволяет автоматизировано актуализировать таксационные и картографические базы данных предыдущего лесоустройства и соответственно вести обновленный государственный лесной реестр и в первую очередь по лесничествам.

В годы тотальной приватизации государственной собственности в отрасли «Лесное хозяйство» осталось одно федеральное госу-

дарственное унитарное предприятие «Рослесинфорг». ФГУП «Рослесинфорг» это:

1. Научно-производственное объединение, обеспечивающее создание и обновление информационных баз данных о лесах, являющихся федеральной собственностью, в целях устойчивого лесопользования и развития лесного бизнеса.

2. 35 филиалов, оснащенных современным оборудованием и новейшими технологиями сбора, обработки и хранения информации о лесах.

3. Свыше 3 тысяч высокопрофессиональных специалистов.

4. Выполнение работ для государственных нужд:

– государственная инвентаризация лесов;

– лесостроительство и лесное планирование;

– подготовка документов для постановки на кадастровый учет лесных участков Российской Федерации;

– формирование федеральных информационных ресурсов.

5. Основные фонды, стоимостью в миллиарды рублей, находящиеся на балансе ФГУП «Рослесинфорг».

6. Наличие на магнитных носителях лесотаксационной выделочной базы данных практически по всем лесам России в объеме более 50 млн таксационных выделов.

7. Среднегодовой объем финансирования работ по ФГУП «Рослесинфорг» за счет всех источников – около 5 млрд рублей.

Необходимо не только сохранить статус ФГУП «Рослесинфорг», но и всемерно развивать его научно-производственный потенциал в государственных интересах.

Пятилетний застой в проведении лесостроительных работ крайне отрицательно сказался на кадровом потенциале. Мы не только не готовим новые кадры, но и практически потеряли квалифицированных инженеров-таксаторов, начальников лесостроительных партий, которые должны обеспечивать выполнение полевых лесостроительных работ.

Возникает вопрос, что даже при внесении кардинальных изменений в Лесной

кодекс РФ, как при дефиците кадров лесостроителей, недостаточном финансировании лесного хозяйства – резко увеличить объемы лесной таксации и лесостроительного проектирования. Исторический отечественный опыт развития лесостроительства, и в первую очередь в советский период, показывает, что данную проблему можно решить за счет внедрения инновационных технологий сбора и обработки данных о лесах.

Центральным лесостроительным предприятием (А.С. Иванов, А.Ю. Соколов) совместно с кафедрой лесостроительства и охраны леса МГУЛ предложен новый выборочно-измерительный способ таксации лесов с использованием космических снимков высокого и среднего разрешения (от 2 до 10 м) и закладки пробных площадей на основании методики государственной инвентаризации лесов.

Новый способ лесной таксации позволит получить: таксационные описания и планшеты, ведомости проектируемых лесохозяйственных мероприятий и расчетную лесосеку по лесничествам, норму лесопользования по арендуемым лесным участкам и ведомости сортиментно-товарной структуры древостоев, вовлекаемых в рубку, тематические лесные карты.

Исследования показывают, что новый способ таксации лесов может обеспечить точность определения запаса насаждений на уровне глазомерно-измерительного и глазомерного методов (15–20 %), а стоимость может соответствовать дешифровочно-актуализированному (80–100 руб/га).

В заключение необходимо констатировать, что после принятия Лесного кодекса РФ (2007) отечественное лесостроительство деградировало и находится в катастрофической ситуации. В связи с чем назрела серьезная проблема организации и осуществления лесопользования и в целом в системе государственного лесопользования. Это, в первую очередь, сказывается в вопросах обеспечения достоверной информации органов государственной власти всех уровней и организаций лесного бизнеса.

Предлагается переработать в Лесном кодексе РФ статьи 67–70:



1. Установить, что при лесоустройстве выполняется определенный комплекс работ (внутрихозяйственная организация территорий лесничества, таксация леса, выявление и анализ последствий хозяйственной деятельности за прошедший ревизионный период, формирование хозчастей и хозсекций, обоснование возрастов рубок насаждений, расчет объемов пользования лесом, проектирование лесохозяйственных мероприятий).

2. По итогам лесоустроительных работ по лесничествам разрабатывается лесохозяйственный регламент и составляются новые формы государственного лесного реестра, а по субъектам РФ – лесной план.

3. Определить, что новые объемы заготовки древесины и лесохозяйственных мероприятий, определенные при лесоустройстве и утвержденные в установленном порядке, могут быть внесены в действующие договора аренда лесных участков и в проекты освоения лесов.

4. Установить, что лесоустроительные работы и государственная инвентаризация лесов должны выполняться федеральными бюджетными или автономными учреждениями. В целях исключения из планов приватизации Федерального государственного унитарного предприятия «Рослесинфорг» его необходимо перевести в установленном порядке в федеральное бюджетное или автономное учреждение.

#### Библиографический список

1. Арнольд, Ф.К. История лесоводства в России, Франции и Германии / Ф.К. Арнольд. – СПб., 1895. – 403 с.
2. Орлов, М.М. Лесоправление как исполнение лесоустроительного проектирования / М.М. Орлов. – Л.: Лесное хозяйство и лесная пром-сть, 1930. – 491 с.
3. Результаты бывшего казенного лесного хозяйства к 1914 году. – СПб.: Политехн. ун-т, 2010. – 182 с.
4. Колданов, В.Я. Очерки истории советского лесного хозяйства / В.Я. Колданов. – М.: Экология, 1992. – 256 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПОСЛЕ РУБОК УХОДА И КОМПЛЕКСНОГО УХОДА ЗА ЛЕСОМ В СОСНЯКАХ БРУСНИЧНЫХ

Н.В. БЕЛЯЕВА, доц. каф. лесоводства СПбГЛТА им. С.М. Кирова, канд. с.-х. наук,  
 А.В. ГРЯЗЬКИН, проф. каф. лесоводства СПбГЛТА им. С.М. Кирова, д-р биол. наук,  
 Н.В. КОВАЛЕВ, асп. каф. лесоводства СПбГЛТА им. С.М. Кирова,  
 А.А. ФЕТИСОВА, асп. каф. лесоводства, СПбГЛТА им. С.М. Кирова,  
 И.А. КАЗИ, асп. каф. лесоводства, СПбГЛТА им. С.М. Кирова

*galbel06@mail.ru, lesovod@bk.ru, feti-anna@mail.ru*

**Ж**ивой напочвенный покров является одним из важнейших компонентов леса. В результате ухода за лесом увеличивается поступление дополнительных ресурсов в фитоценоз. Однако не все из них используются древостоем. Растительность нижних ярусов, перехватывая не востребуемые древостоем элементы питания, связывает их и вовлекает в систему малого биокруговорота. В этом проявляется почвозащитная и ресурсосберегающая роль живого напочвенного покрова [1, 2]. Структурные изменения, происходящие в древостое [1, 3] под воздействием рубок ухода и комплексного ухода за лесом (сочетания рубок

ухода с внесением минеральных удобрений), ведут к изменениям в структуре живого напочвенного покрова, обеспечивая стабильность биокруговорота элементов питания и, таким образом, повышают устойчивость лесного фитоценоза. Сравнительный анализ структурных изменений напочвенной растительности дает возможность выявить закономерности в реакции лесной экосистемы на уход за лесом, облегчая тем самым его регламентацию.

#### Методика проведения исследования

Объектами исследования являлись чистые приспевающие сосновые древостои

### Краткая характеристика объектов исследования

Номер пробной площади	Вариант опыта ( <i>J</i> – интенсивность рубки)	Состав древостоя		Возраст, лет	
		1971 г.	2006 г.	1971 г.	2006 г.
6–2	Двукратная рубка по низовому методу: 1971 г. ( <i>J</i> = 36 %, умеренно-сильная рубка); 1981 г. ( <i>J</i> = 6 %, очень слабая рубка)	10С ед. Б	10С	36	71
6–3	Контроль	10С ед. Б	10С	36	71
6–4	Контроль + трехкратное внесение удобрений в 1972, 1977, 1982 гг.	10С ед. Б	10С	40	75
6–5	Умеренно-сильная рубка по низовому методу в 1971 г. ( <i>J</i> = 32 %) + трехкратное внесение удобрений в 1972, 1977, 1982 гг.	10С ед. Б	10С	40	75
6–6	Двукратная рубка по низовому методу: 1971 г. ( <i>J</i> = 27 %, умеренная рубка); 1981 г. ( <i>J</i> = 10 %, очень слабая рубка) + двукратное внесение удобрений в 1972, 1982 гг.	10С ед. Б	10С	40	80
6–9	Сильная рубка по низовому методу в 1971 г. ( <i>J</i> = 49 %)	10С ед.	10С	45	80

I класса бонитета брусничного типа леса, полнотой 0,9 по состоянию на 2006 г. Почвы: грубогумусный железисто-иллювиальный песчаный подзол на ледниково-озерных сортированных песках. Постоянные пробные площади (ПП) размером 0,2 га были заложены в 1971 г. сотрудниками лаборатории лесоводства СПбНИИЛХа под руководством проф. С.Н. Сеннова на территории опытного лесного хозяйства «Сиверский лес» в Ленинградской области. При этом выделялись следующие варианты опыта: контрольные древостои, разреженные рубками ухода, древостои и разреженные древостои с внесением удобрений (табл. 1).

Рубки ухода – поздние прореживания или ранние проходные рубки. В качестве удобрения применяли гранулированную мочевины (карбамид), которую разбрасывали вручную по поверхности почвы в ближайший вегетационный период после прореживания древостоя в мае–начале июня в дозе 150 кг/га азота по д.в. за один прием. Повторяемость внесения – двух- или трехкратная, с интервалом в 5 или 10 лет.

При изучении влияния рубок ухода и комплексного ухода за лесом на видовой состав и структуру живого напочвенного покрова основное внимание уделялось определению видового разнообразия и проективного покрытия напочвенной растительности. При-

менялась общепринятая методика учета растений на однометровых учетных площадках [4–6]. Площадки закладывались на трансектах с расчетом их максимально равномерного размещения на пробной площади. На каждой площади учетные работы производили на 20 площадках. Определяли степень проективного покрытия по видам на средней площадке и пробной площади в целом. Простым суммированием показателей по всем видам (отдельно для травяно-кустарничкового и мохового ярусов) определяли суммарное проективное покрытие напочвенной растительности. Материалы были получены сотрудниками кафедры лесоводства Санкт-Петербургской лесотехнической академии Е.С. Мельниковым (1989), Н.В. Беляевой (2002, 2006). Обработка полевых материалов, их анализ и выявление закономерностей выполнены авторами статьи.

### Результаты исследований и их обсуждение

По данным исследований, срок эффективного действия удобрений в сосновых древостоях равен 5–7 годам [2]. Однако эти сроки нестабильны и зависят от многих факторов: вида и дозы удобрений, характера почвы, главной породы, ее возраста и других условий. Длительное действие удобрения, внесенного в древостой, обусловлено высокой емкостью лесной экосистемы, ее целостностью, устойчивостью, сопряженностью и

динамичностью всех ее компонентов. Следовательно, это действие проявляется во всех структурных элементах системы. Таким образом, говоря о сроках эффективного действия удобрений, необходимо рассматривать конкретный уровень организации лесной экосистемы. Так, показателем эффективности действия удобрений в древостое можно считать его текущий (дополнительный) прирост; если речь идет о фитоценозе, то необходимо учитывать продуктивность и других ярусов растительности (или, по крайней мере, структурные изменения в ценозе); при переходе на уровень биогеоценоза следует, помимо прочего, принимать во внимание почвенные характеристики, так как почвенный микробиоценоз является регулятором и чутким индикатором процессов, протекающих в ризосфере [1, 2].

В данной работе остановимся на сроках эффективного действия удобрений в нижних ярусах растительности. Видовой состав и проективное покрытие травяно-кустарничкового и мохового ярусов на 1971 г. были одинаковыми (разница составляла до 5 %). Последующий учет живого напочвенного покрова проводился в 1989, 2002 и 2006 гг. (табл. 2–4) с целью определения эффекта последствие минеральных удобрений в нижних ярусах растительности. Проанализируем полученные результаты исследования.

Рассмотрим изменения, происшедшие в структуре живого напочвенного покрова, после ухода за лесом на 1989 г. На опытных участках, где было внесено удобрение (ПП 6–4) и проведен комплексный уход за лесом (ПП 6–5 и 6–6), наблюдается снижение доли кустарничков по сравнению с контрольным вариантом и рубками ухода (табл. 2–4). Объясняется это, скорее всего, тем, что кустарники как элемент «консервативной» растительности вытесняются более динамичными видами, в основном злаками. При этом следует отметить, что происходит постепенная замена брусники черникой, что, в свою очередь, свидетельствует об улучшении условий местопроизрастания.

В противоположность предыдущим вариантам опыта рубки ухода за лесом (ПП 6–2 и 6–9) способствуют увеличению доли кустар-

ничков. Вероятно, для развития кустарничкового яруса в данном типе леса выбранный режим ухода является оптимальным. Кроме того, рубки ухода за лесом (ПП 6–2 и 6–9) приводят к временному уменьшению проективного покрытия мхов по сравнению с контрольным вариантом (ПП 6–3). Рубки ухода если и не вызывают кардинального изменения в соотношении между травяным и моховым ярусами, то по крайней мере сдвигают это соотношение в пользу первого, что свидетельствует о положительной роли данного вида ухода за лесом. Известно, что мхи являются индикаторами замедленного биокруговорота. Это позволяет говорить о возможности повышения интенсивности биокруговорота с помощью рубок ухода за лесом.

На объектах комплексного ухода за лесом (ПП 6–5 и 6–6), а также на участке, где было проведено трехкратное внесение удобрения (ПП 6–4), в 1989 г. наблюдается кардинальное изменение соотношения между травяным и моховым ярусами в пользу первого. В сосняках азотные удобрения стимулируют разрастание злаковой растительности (вейник лесной, луговик дернистый), ослабляя позиции мхов. Комплексный уход вызывает изменение экологического режима, снижение конкуренции со стороны древостоя, высвобождение части почвенных ресурсов и повышение актуального плодородия почвы и как следствие разрастание злаковой растительности, выполняющей почвозащитную и ресурсосберегающую функцию. В фитоценозе происходит структурная перестройка, направленная на закрепление дополнительных ресурсов в биокруговороте с максимально возможным предотвращением их потерь. Для злаков характерен быстрый захват, связывание и возврат элементов питания в почву с опадом. Кроме того, они способны к образованию дернины, в которой также могут аккумулироваться связанные элементы питания. В результате дополнительные ресурсы вовлекаются в систему малого биокруговорота, повышая его интенсивность, что свидетельствует о более значительном экологическом эффекте комплексного ухода за лесом по сравнению с остальными вариантами опыта.

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова в сосняке брусничном на контрольных участках**

Видовое название растения		ПП 6-3			ПП 6-4		
		Проективное покрытие, %					
русское	латинское	1989 г.	2002 г.	2006 г.	1989 г.	2002 г.	2006 г.
<i>Травяно-кустарничковый ярус</i>		57,2	62,3	68,2	92,7	114,3	124,7
Кустарнички		48,4	45,4	48,7	37,4	22,3	20,0
Брусника	<i>Vaccinium vitis-idaea L.</i>	18,4	3,9	2,9	9,8	2,6	2,0
Вереск обыкновенный	<i>Calluna vulgaris (L.) Hill</i>	1,8	0,2	0,1	2,0	0,5	0,4
Черника	<i>Vaccinium myrtillus L.</i>	28,2	41,3	45,7	25,6	19,2	17,6
Травы		8,8	16,9	19,5	55,3	92,0	104,7
Вейник лесной (тростниковый)	<i>Calamagrostis arundinacea Roth</i>	–	–	–	1,9	11,0	14,0
Иван-чай узколистый	<i>Chamerion angustifolium (L.) Holub</i>	–	–	–	–	+	+
Луговик дернистый	<i>Deschampsia cespitosa Beauv</i>	3,2	9,1	11,1	42,8	71,8	81,5
Майник двулистый	<i>Maianthemum bifolium F.W.Schmidt</i>	–	0,4	0,5	0,3	+	+
Марьяник луговой	<i>Melampyrum pratense L.</i>	5,6	5,9	6,0	9,1	8,7	8,6
Ожика волосистая	<i>Luzula pilosa Willd</i>	–	–	–	0,5	–	–
Плаун годичный	<i>Lycopodium annotinum L.</i>	–	0,8	1,1	0,4	–	–
Седмичник европейский	<i>Trientalis europaea L.</i>	–	0,7	0,9	0,3	0,5	0,6
<i>Моховой ярус</i>		99,0	37,4	29,8	63,3	32,0	26,8
Брахитециум неровный	<i>Brachythecium salebrosum (Web. &amp; Mohr) Schimp.</i>	–	1,0	1,3	2,4	1,3	1,1
Дикранум многожковый	<i>Dicranum polysetum Sw.</i>	57,8	21,8	17,3	34,1	17,3	14,5
Плеуроциум Шребера	<i>Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt.</i>	41,2	14,3	11,2	22,8	11,6	9,7
Политрихум обыкновенный	<i>Polytrichum commune Hedw.</i>	–	0,3	–	–	–	–
Политрихум волосоносный	<i>Polytrichum piliferum Hedw.</i>	–	–	–	0,1	–	–
Птилиум гребенчатый	<i>Ptilium crista-castrensis (Hedw.) De Not.</i>	–	–	–	3,6	1,8	1,5
Хилокомиум блестящий	<i>Hylocomium splendens (Hedw.) Schimp.</i>	–	–	–	0,3	–	–
Суммарное проективное покрытие, %		156,2	99,7	98,0	156,0	146,3	151,5

Следует подчеркнуть, что, по данным исследований [1–3], именно рубки ухода в первую очередь вызывают изменение экологического режима, снижение конкуренции со стороны древостоя, высвобождение части почвенных ресурсов и, следовательно, активное разрастание напочвенной растительности. Удобрение же повышает фактическое плодородие почвы и в конечном итоге также способствует развитию растительности нижних ярусов, накоплению в нем элементов питания и вовлечению их в систему малого биокруговорота. Правда, без сопутствующего разреживания на это требуется в 2 раза больше времени.

Однако возможности повышения интенсивности биокруговорота путем применения удобрений в системе комплексного ухода за лесом все же ограничены. Связано это с

тем, что минеральные удобрения, существенно повышая фактическое почвенное плодородие, относительно слабо изменяют потенциальное плодородие и тем самым оказываются не в состоянии повлиять на весь комплекс лесорастительных условий. Разовая доза вносимого азота не превышает годичной потребности фитоценоза и является оптимальной. Превышение ее приводит к потерям ресурсов в системе, дисбалансу элементов питания, снижению эффективности ухода за лесом. При этом удобрения стимулируют восстановительные процессы в древостое и фитоценозе в целом. А это, по нашему мнению, весьма важный аргумент в пользу систематического комплексного ухода.

Применение рубок ухода и комплексного ухода за лесом изменяет баланс между составляющими лесной экосистемы, что

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова  
в сосняке брусничном на объектах комплексного ухода за лесом**

Видовое название растения		ПП 6–5			ПП 6–6		
		Проективное покрытие, %					
русское	латинское	1989 г.	2002 г.	2006 г.	1989 г.	2002 г.	2006 г.
<i>Травяно–кустарничковый ярус</i>		113,6	68,7	69,0	107,4	62,1	60,6
Кустарнички		35,5	41,0	43,7	28,5	37,6	40,7
Брусника	<i>Vaccinium vitis-idaea L.</i>	5,7	4,5	4,2	5,4	6,3	6,6
Вереск обыкновенный	<i>Calluna vulgaris (L.) Hill</i>	2,8	0,2	0,1	1,4	1,3	1,3
Черника	<i>Vaccinium myrtillus L.</i>	27,0	36,3	39,4	21,7	30,0	32,8
Травы		81,1	27,7	25,3	78,9	24,5	19,9
Вейник лесной (тростниковый)	<i>Calamagrostis arundinacea Roth</i>	5,1	0,8	0,6	0,5	1,5	1,8
Иван-чай узколистный	<i>Chamerion angustifolium (L.) Holub</i>	+	0,1	0,1	–	–	–
Луговик дернистый	<i>Deschampsia cespitosa Beauv</i>	65,2	15,0	11,2	60,0	14,5	10,8
Майник двулистный	<i>Maianthemum bifolium F.W.Schmidt</i>	1,0	0,4	0,3	–	+	+
Марьяник луговой	<i>Melampyrum pratense L.</i>	6,0	9,6	10,8	15,6	7,0	5,7
Ожика волосистая	<i>Luzula pilosa Willd</i>	–	–	–	1,6	+	+
Плаун годичный	<i>Lycopodium annotinum L.</i>	–	–	–	1,2	1,5	1,6
Седмичник европейский	<i>Trientalis europaea L.</i>	0,8	1,9	2,3	–	+	+
<i>Моховой ярус</i>		33,0	32,6	33,7	58,0	37,2	33,3
Брахитециум неровный	<i>Brachythecium salebrosum (Web. &amp; Mohr) Schimp.</i>	1,5	0,3	0,2	3,3	+	+
Дикранум многоножковый	<i>Dicranum polysetum Sw.</i>	19,2	21,7	22,5	25,3	17,4	15,6
Плевроциум Шребера	<i>Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt.</i>	6,4	7,3	7,6	20,9	14,3	12,8
Политрихум обыкновенный	<i>Polytrichum commune Hedw.</i>	–	+	+	–	–	–
Политрихум волосоносный	<i>Polytrichum piliferum Hedw.</i>	0,2	+	+	–	–	–
Птилиум гребенчатый	<i>Ptilium crista-castrensis (Hedw.) De Not.</i>	2,9	3,3	3,4	8,0	5,5	4,9
Хилокомиум блестящий	<i>Hylocomium splendens (Hedw.) Schimp.</i>	0,5	+	+	0,5	+	+
Суммарное проективное покрытие, %		146,6	101,3	102,7	165,4	99,3	93,9

неизбежно приводит к выходу и компонентов, и системы из состояния подвижного устойчивого равновесия. При этом удобрение, вносимое в лесную экосистему, усваивается последней как вид дополнительной энергии. Следовательно, оно поддерживает и даже укрепляет структуру системы, хотя и вызывает в ней определенные изменения. Опыты показывают, что удобрения, как правило, очень быстро включаются в систему посредством биокруговорота, интенсифицируют восстановительные процессы, укрепляют структуру и повышают устойчивость фитоценозов. На следующем этапе вновь усиливается воздействие на систему сдерживающих факторов внешнего и внутреннего порядка. Происходит возврат к «норме», хотя уже на несколько ином уровне функционирования и с измененной структурой. Такое положение характерно практически для всех ярусов лесной растительности и фитоценоза в целом, которые изучались в экспериментах с рубками и удоб-

рениями. К 2002 г. во всех вариантах опыта суммарное проективное покрытие напочвенной растительности выравнивается.

Аналогичная ситуация отмечается и в 2006 г., что свидетельствует о возврате системы в состояние подвижного устойчивого равновесия. Кроме того, устанавливается равновесие между кустарничками, травами и мхами, что также указывает на повышение устойчивости данного лесного фитоценоза. Исключение составляет ПП 6-4. Видимо, трехкратное применение минеральных удобрений без разреживаний продлевает срок их эффективного действия в живом напочвенном покрове до 20 и даже 25 лет.

### Выводы

1. Структурные изменения, происходящие в древостое под воздействием комплексного ухода за лесом, ведут к изменениям в структуре живого напочвенного покрова, обеспечивая стабильность биокруговорота

**Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова в сосняке брусничном на опытных участках, пройденных рубками ухода**

Видовое название растения		ПП 6–2			ПП 6–9		
		Проективное покрытие, %					
русское	латинское	1989 г.	2002 г.	2006 г.	1989 г.	2002 г.	2006 г.
<i>Травяно-кустарничковый ярус</i>		122,0	63,8	57,1	115,8	64,4	60,1
Кустарнички		65,8	42,3	38,7	51,9	28,8	28,0
Багульник болотный	<i>Ledum palustre L.</i>	1,8	+	+	–	–	–
Брусника	<i>Vaccinium vitis-idaea L.</i>	13,8	3,2	2,4	22,9	1,5	1,0
Вереск обыкновенный	<i>Calluna vulgaris (L.) Hill</i>	0,4	0,8	0,9	–	–	–
Голубика	<i>Vaccinium uliginosum L.</i>	1,6	1,8	1,9	–	–	–
Черника	<i>Vaccinium myrtillus L.</i>	48,2	36,5	33,5	29,0	27,3	27,0
Травы		56,2	21,5	18,4	53,9	25,6	32,1
Вейник лесной (тростниковый)	<i>Calamagrostis arundinacea Roth</i>	5,8	0,7	0,5	10,8	3,3	2,5
Иван-чай узколистый	<i>Chamerion angustifolium (L.) Holub</i>	–	–	–	+	–	–
Луговик дернистый	<i>Deschampsia cespitosa Beauv</i>	38,8	10,5	7,9	39,8	19,0	15,7
Майник двулистный	<i>Maianthemum bifolium F.W.Schmidt</i>	–	–	–	1,6	0,5	0,4
Марьяник луговой	<i>Melampyrum pratense L.</i>	11,6	9,0	8,3	9,8	7,0	6,3
Ожика волосистая	<i>Luzila pilosa Willd</i>	–	–	–	0,2	+	+
Плаун годичный	<i>Lycopodium annotinum L.</i>	–	–	–	0,5	0,5	0,5
Седмичник европейский	<i>Trientalis europaea L.</i>	–	1,3	1,7	1,2	5,3	6,7
<i>Моховой ярус</i>		82,0	36,3	33,2	81,5	33,8	30,9
Брахитециум неровный	<i>Brachythecium salebrosum (Web. &amp; Mohr) Schimp.</i>	0,2	–	–	1,5	1,5	1,5
Дикранум многоножковый	<i>Dicranum polysetum Sw.</i>	65,6	16,8	12,6	33,5	21,7	19,2
Плевроциум Шребера	<i>Pleurozium schreberi (Brid.) Mitt.</i>	14,7	13,9	13,6	6,4	7,3	7,6
Политрихум обыкновенный	<i>Polytrichum commune Hedw.</i>	+	0,3	0,4	–	–	–
Политрихум волосоносный	<i>Polytrichum piliferum Hedw.</i>	–	–	–	–	–	–
Птилиум гребенчатый	<i>Ptilium crista-castrensis (Hedw.) De Not.</i>	1,5	5,3	6,6	8,5	3,3	2,6
Хилокомиум блестящий	<i>Hylocomium splendens (Hedw.) Schimp.</i>	–	–	–	–	–	–
Суммарное проективное покрытие, %		147,8	100,1	90,1	197,3	98,2	91,0

элементов питания и, таким образом, устойчивость лесного фитоценоза.

2. Сравнительный анализ динамики структурных изменений и видового состава напочвенной растительности в сосновых древостоях дает возможность выявить закономерности в реакции лесной экосистемы на уход за лесом, облегчая тем самым его регламентацию.

3. В сосновых древостоях комплексный уход за лесом уменьшает долю кустарничков. Объясняется это тем, что усиливается конкуренция между травами (злаками) и кустарничками.

4. В сосняках брусничных после рубок ухода и регулярного комплексного ухода за лесом наблюдается изменение соотношения

проективного покрытия травяного и мохового ярусов в пользу первого. Активное развитие травяного яруса объясняется изменением экологического режима в результате ухода за лесом, а именно, во-первых, изменением условий освещенности под пологом, во-вторых, снижением конкуренции со стороны древостоя, и, в-третьих, высвобождением части почвенных ресурсов и повышением актуального почвенного плодородия.

5. В сосняках азотные удобрения стимулируют разрастание злаковой растительности, ослабляя позиции мхов. Увеличение доли злаков в сосновых древостоях свидетельствует об интенсификации биокруговорота. Данное явление объясняется биологическими особенностями злаковой растительности, а именно

быстрым захватом, связыванием и возвратом элементов питания в почву с опадом, а также образованием дернины, в которой накапливаются связанные элементы питания.

6. После регулярного комплексного ухода наблюдается изменение соотношения между травяным и моховым ярусом в пользу первого. Известно, что мхи являются индикаторами замедленного биокруговорота. Это позволяет говорить о значительном экологическом эффекте комплексного ухода за лесом по сравнению с остальными вариантами опыта.

7. Живой напочвенный покров идентифицирует сукцессионные изменения в фитоценозе, направление и ход восстановительных реакций на объектах ухода за лесом. По проективному покрытию и структуре напочвенной растительности можно судить об эффективности лесохозяйственных мероприятий, особенно действия и последствия уходов за лесом. На исследуемых объектах показатели проективного покрытия выравниваются спустя 20–25 лет после начала экспериментов с рубками и удобрениями, что дает основание считать этот срок достаточным для возврата системы в состояние подвижного равновесия.

В заключение следует подчеркнуть, что рубки ухода за лесом и особенно удобрения, вносимые в разреженные древостои, ускоряют восстановительные реакции. Ослабляя конкуренцию и повышая актуальное плодородие почв, проводимые мероприятия создают благоприятные условия для развития не только древостоя, но и всех ярусов расти-

тельности. В результате расширяется спектр видового разнообразия и соответственно усложняется структура нижнего яруса растительности. Структурные изменения в живом напочвенном покрове направлены на усиление почвозащитных и ресурсосберегающих функций, и вместе с тем, они являются естественным следствием ускорения сукцессии. Все это дает основание считать, что применение удобрений, особенно в системе комплексного ухода, целесообразно как с экологической, так и с лесоводственной точек зрения.

### Библиографический список

1. Беляева, Н.В. Закономерности функционирования сосновых и еловых фитоценозов южной тайги на объектах комплексного ухода за лесом: дис. ... к.с.-х. наук : 06.03.03 : защищена 22.03.02: утв. 07.07.06 / Н.В. Беляева – СПб., 2006. – 186с.
2. Мельников, Е.С. Влияние комплексного ухода за лесом на развитие нижних ярусов растительности сосновых и еловых фитоценозов южной тайги / Е.С. Мельников, Н.В. Беляева, Л.С. Богданова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 178. – СПб.: СПбГЛТА, 2006. – С. 4–12.
3. Грязькин, А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (На примере ельников Северо-Запада России) / А.В. Грязькин. – СПбЛТА, 2001. – 188 с.
4. Базилевич, Н.И. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич – М.: Мысль, 1978. – 182 с.
5. Гришина, Л.А. Учет биомассы и химический анализ растений / Л.А. Гришина, Е.М. Самойлова. – М.: МГУ, 1971. – 99 с.
6. Карпачевский, Л.О. Почвеннобиогеоценотические исследования в лесных биогеоценозах / Л.О. Карпачевский. – М.: МГУ, 1984. – 160 с.

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КЛОНОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) ПО ПАРАМЕТРАМ ХВОИ В ТРЕХФАКТОРНОМ ДИСПЕРСИОННОМ АНАЛИЗЕ

Н.Н. БЕССЧЕТНОВА, доц. Нижегородская ГСХА, канд. с.-х. наук

[besschetnova1966@mail.ru](mailto:besschetnova1966@mail.ru)

Одной из важных характеристик древесных пород, связанной с режимом их фотосинтеза, продуктивностью и адаптивностью, выступают параметры листового аппарата. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) неоднородна в этом плане, и в составе

вида выделено много форм, различимых по характеристикам хвои [1–3]. Выраженный полиморфизм проявляется по ее длине, массе в свежесобранном и сухом состоянии, форме, окраске, продолжительности жизни, содержанию хлорофилла и др. [4]. Хвоя весьма чувс-

твительна к воздействию широкого спектра факторов, определяет рост и развитие других частей и органов растения [1, 5]. Параметры и форму хвои связывают энергией роста: чем длиннее хвоя, тем интенсивнее прирост [3, 6, 7]. Наиболее стабильным признаком хвои выступает ее длина [4]. Не установлено изменение данного показателя в естественных популяциях в зависимости от географической широты [8], в том числе при оценке внутриклоновой изменчивости [9, 10]. Вместе с тем отмечается высокая степень зависимости линейных параметров от внешних условий при выраженном контроле со стороны генотипа растений, а также варьирование показателя в пределах отдельных особей и по годам [6, 11, 12]. Масса хвои у всех клонов варьирует значительно, что обуславливает возможность отбора потомства по этому признаку; разработана шкала изменчивости по длине и массе [5, 10].

Полностью вызревшая одновозрастная (1-летняя) хвоя заготавливалась с периферии среднего пояса хорошо освещенного участка кроны (предварительно визуальным способом устанавливалось, какая сторона наиболее освещена в течение светлого времени суток). Хвоя заготавливалась по 50 – 100 пар с нескольких (не менее 3) разных побегов каждого учетного дерева. Каждое плюсовое дерево (ортет) было представлено не менее чем 3-мя учетными деревьями (раметами). Их численность в нашем опыте составила соответственно 36 и 108 объектов. Первичной единицей выборки служили: для определения длины свежесобранной и воздушно-сухой хвои – отдельная хвоинка; для определения массы – отдельный пучок из 2 хвоинок. При оценке длины хвои для разграничения каждой из двух хвоинок в их пучке и раздельной регистрации в полевых журналах им условно присваивался учетный индекс: «1-я хвоинка» или «2-я хвоинка». Их длину измеряли линейкой с точностью до 0,5 мм, массу определяли взвешиванием на торсионных весах ВТ-500. Повторный учет значений проводился после длительного (4 месяца) высушивания образцов в свободном режиме.

Предложенная схема получения первичной лесоводственной информации обеспечивает возможность организации многофакторных иерархических дисперсионных комплексов, анализ которых позволяет вычленить долю дисперсии, приходящейся на каждый уровень действия организованных факторов: различия между ортетами, различия между раметами, различия между учетными побегами, остаточная дисперсия.

Плюсовые деревья, размещенные на площади лесосеменной плантации № 24 государственного бюджетного учреждения Нижегородской области «Семеновский спецсемлесхоз» (ГБУ НО «Семеновский спецсемлесхоз»), проявили заметную дифференциацию по основным характеристикам хвои. Существенность установленных различий подтвердил однофакторный дисперсионный анализ, выступающий первым этапом общей многофакторной схемы (табл. 1).

Материалы табл. 1 позволяют заметить, что во всех случаях учета в комплексах клонов плюсовых деревьев, введенных в состав объектов ПЛСБ и ЕГСК, опытные критерии Фишера превосходят свои табличные величины как на 5-процентном, так и на 1-процентном уровне значимости. Наименьшая существенная разность и D-критерий Тьюки обозначают критический порог существенности различий и позволяют установить, между какими вегетативными потомствами он будет превышен. Полученные оценки соответствуют представлению о выравнивании условий произрастания на каждом из опытных участков и минимизации в соответствии с этим влияния внешних факторов на дифференциацию анализируемых растений по учитываемому показателю. При этом следует иметь в виду, что изменение экологических условий для того или иного клона может вызвать у каждого из них вполне специфическую реакцию, связанную индивидуальным порогом критических требований к ресурсному потенциалу среды. Это может выражаться, в том числе, в особенностях реализации их возможностей образовывать хвою и обеспечивать ее развитие. Тогда мы вправе ожидать и неодинаковый уровень дисперсии



**Оценки существенности различий между плюсовыми деревьями по параметрам хвои в ГБУ НО «Семеновский спецлесхоз»**

Признаки	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm s_{h^2}$ )				Критерии различий	
	$F_{\text{оп}}$	$F_{05}/F_{01}$	по Плохинскому		по Снедекору		$НСР_{05}$	$D_{05}$
			$h^2$	$\pm s_{h^2}$	$h^2$	$\pm s_{h^2}$		
ЛСП № 24 – свежесобранная хвоя, заготовка 2009 г.								
Длина 1-й хвоинки	138,35	1,46/1,69	0,4293	0,0031	0,4330	0,0031	1,989	3,588
Длина 2-й хвоинки	134,72	1,46/1,69	0,4228	0,0031	0,4265	0,0031	2,000	3,608
Масса пучка хвои	75,04	1,46/1,69	0,2897	0,0039	0,2916	0,0039	0,007	0,013
ЛСП № 24 – воздушно-сухая хвоя, заготовка 2009 г.								
Длина 1-й хвоинки	128,24	1,46/1,69	0,4110	0,0032	0,4146	0,0032	1,982	3,575
Длина 2-й хвоинки	134,71	1,46/1,69	0,4230	0,0031	0,4267	0,0031	1,961	3,538
Масса пучка хвои	66,93	1,46/1,69	0,2670	0,0040	0,2685	0,0040	0,003	0,005
ЛСП № 24 – параметры навески хвои отдельного учетного побега, заготовка 2009 г.								
Масса навески в абсолютно сухом состоянии	4,24	1,45/1,69	0,3402	0,0802	0,2648	0,0893	0,221	0,398
Отношение массы воды к массе свежесобранной хвои в навеске	2,79	1,45/1,69	0,2532	0,0908	0,1659	0,1014	0,044	0,079
Отношение массы навески в свежесобранном и воздушно-сухом состоянии	2,86	1,45/1,69	0,2579	0,0902	0,1713	0,1007	0,233	0,420

значений изучаемого признака на указанных опытных участках.

Доля влияния организованных факторов, которые в нашем случае определены принадлежностью к клону того или иного плюсового дерева на ЛСП № 24, по массе хвои составляла 28,97 % и 26,70 % (по свежесобранной и воздушно-сухой хвое соответственно). По длине хвои эти оценки заметно выше и составляли от 41,10 % до 42,93 %. Полученный результат свидетельствует о заметной генотипической обусловленности различий между вегетативными потомствами плюсовых деревьев по способности формировать хвою определенных параметров. Такой их уровень фиксируется во все сроки учета на всех обследованных участках. Это обуславливает принципиальную возможность привлечения данного показателя для включения в состав комплекса признаков при многомерной идентификации объектов лесной селекции: плюсовых деревьев, их клонов и семенных репродукций.

На этом фоне влияние неорганизованных факторов, в число которых могут быть включены и факторы среды, все же оказалось преобладающим и во всех случаях учета пре-

вышало 50 %. Данное обстоятельство указывает на значительную зависимость проявляющейся способности плюсовых деревьев развивать хвою определенных параметров от воздействия внешних условий. Оно способно нивелировать разницу в показателях, имеющую генотипическую природу, и предопределяет возможность достаточно больших изменений в фенотипических проявлениях признака. Это влияние способно изменить соотношение в характеристиках определенного набора клонов при учетах в разные годы с несходными климатическими параметрами. Вместе с тем принятая схема однофакторного дисперсионного анализа относит к числу неорганизованных факторов и такие неизбежные источники дисперсии, как различия между прививками одного плюсового дерева (раметами) и различия между учетными побегами, заготовленными в разных частях кроны одного учетного дерева.

Эффективность действия всех организованных факторов, вызывающих различия между плюсовыми деревьями по анализируемым параметрам хвои, позволил установить трехфакторный иерархический дисперсионный анализ (табл. 2).

### Результаты трехфакторного дисперсионного анализа по морфометрическим параметрам хвои (ГБУ НО «Семеновский спецлесхоз», прирост 2009 г.)

Фактор воздействия на дисперсионный комплекс	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ( $h^2 \pm m_h$ )			
			по Плохинскому		по Снедекору	
	$F_{оп}$	$F_{05/01}$	$h^2$	$\pm m_{h2}$	$h^2$	$\pm m_{h2}$
Длина 1-й учетной хвоинки в пучке – свежесобранная хвоя						
Различия между оргетами	3,14	1,57/1,89	0,4293	0,0032	0,3825	0,0035
Различия между раметами	6,87	1,32/1,48	0,2811	0,0084	0,3129	0,0080
Различия между побегамии	20,93	1,24/1,36	0,1227	0,0308	0,1521	0,0298
Остаточная дисперсия			0,1669	0,8331	0,1525	0,8475
Длина 2-й учетной хвоинки в пучке – свежесобранная хвоя						
Различия между оргетами	3,05	1,57/1,89	0,4228	0,0033	0,3761	0,0036
Различия между раметами	7,00	1,32/1,48	0,2850	0,0084	0,3176	0,0080
Различия между побегамии	20,44	1,24/1,36	0,1221	0,0308	0,15103	0,0298
Остаточная дисперсия			0,1701	0,8299	0,1553	0,8447
Масса пучка хвои – свежесобранная хвоя						
Различия между оргетами	1,78	1,57/1,89	0,2897	0,0040	0,2529	0,0043
Различия между раметами	4,90	1,32/1,48	0,3342	0,0078	0,3398	0,0077
Различия между побегамии	33,90	1,24/1,36	0,2044	0,0279	0,2534	0,0262
Остаточная дисперсия			0,1717	0,8283	0,1539	0,8461
Длина 1-й учетной хвоинки в пучке – воздушно-сухая хвоя						
Различия между оргетами	3,07	1,57/1,89	0,4110	0,0034	0,3673	0,0036
Различия между раметами	6,16	1,32/1,48	0,2754	0,0085	0,3013	0,0082
Различия между побегамии	21,27	1,24/1,36	0,1342	0,0304	0,16702	0,0293
Остаточная дисперсия			0,1794	0,8206	0,1645	0,8355
Длина 2-й учетной хвоинки в пучке – воздушно-сухая хвоя						
Различия между оргетами	3,12	1,57/1,89	0,4230	0,0033	0,3774	0,0035
Различия между раметами	6,34	1,32/1,48	0,2786	0,0085	0,3060	0,0081
Различия между побегамии	22,53	1,24/1,36	0,1319	0,0305	0,1643	0,0294
Остаточная дисперсия			0,1665	0,8335	0,1524	0,8476
Масса пучка хвои – воздушно-сухая хвоя						
Различия между оргетами	1,82	1,57/1,89	0,2670	0,0042	0,2362	0,0044
Различия между раметами	4,12	1,32/1,48	0,3023	0,0082	0,2966	0,0082
Различия между побегамии	29,69	1,24/1,36	0,2200	0,0274	0,2755	0,0255
Остаточная дисперсия			0,2107	0,7893	0,1917	0,8083

Во всех вариантах опыта, как это следует по материалам табл. 2, различия между собственно плюсовыми деревьями – оргетами (каждое представлено комплексом клонов – рамет), оказались существенными. Опытные критерии Фишера превосходят соответствующие критические значения. Влияние фактора «различия между оргетами» достаточно велико и преобладает во всех случаях учета. При этом по длине хвои оно заметно выше: от 41,10 % (первая воздушно-сухая хвоинка) до 42,93 % (первая свежесобранная хвоинка). Различия того же ранга по массе хвои выражены в меньшей степени: 26,70 – 28,97 %, – хотя также

превышают остальные соответствующие оценки.

Действие различий между раметами несколько меньше и оценивается интервалом от 27,54 % (длина 1-й свежесобранной учетной хвоинки) до 33,42 % (масса пучка свежесобранной хвои). Возникновение влияния данного фактора связано с неоднородностью вегетативного потомства одного плюсового дерева и может быть объяснено исходя из следующих соображений. Существующие регламенты и реализуемая в соответствии с ними агротехника создания ЛСП вегетативного происхождения и архивов клонов (от момента первичного освоения участка до этапа пере-

хода растений в генеративную фазу онтогенеза) предусматривает предельно возможное выравнивание условий произрастания и минимизацию в этой связи их дифференцирующего эффекта. Кроме того, принятые приемы тиражирования и режимы выращивания посадочного материала обеспечивают однотипность его технологических параметров. Действенной причиной неравноценности прививок (именно этот метод размножения использовался для создания анализируемых объектов) остается качество работ при их выполнении, как, впрочем, и индивидуальное состояние, и специфика взаимодействия подвоя и привоя. Это может в значительной мере определять успешность их срастания и последующее развитие. Такое объяснение выглядит вполне логичным, поскольку в пределах одного клона все его представители генетически идентичны.

Влияние такого источника дисперсии, как различия в свойствах учетных побегов одного растения (эндогенная изменчивость, рассматриваемая как метамерная изменчивость) на формирование ее общего фона, оказалось меньше влияния остальных организованных факторов: 12,21–22,00 % (длина второй свежесобранной хвоинки и масса воздушно-сухой хвои соответственно). Эффект такого влияния может быть объяснен наличием неизбежных различий в условиях формирования побегов в кроне одного дерева, а следовательно, и в условиях развития хвои на них. Установленная степень обусловленности различий в параметрах хвои между учетными побегами позволяет оценить, насколько велика доля ненаследуемой изменчивости в пределах одного учетного дерева. Она не связана с пестротой экологического фона, на котором сформирована обследованная ЛСП № 24. Полученный в ходе проведения трехфакторного анализа материал предоставляет возможность соотнести дисперсию, вызванную разницей в генотипах, с дисперсией, не связанной с наследственными особенностями исследуемых растений. Это позволяет более детально описать структуру и вскрыть причины видимых различий между плюсовыми деревьями, что, в свою очередь, формирует основания для

обоснованного включения их в состав объектов постоянной лесосеменной базы (ПЛСБ) и единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК). Зная долю такого влияния, мы можем более точно оценить и эффект влияния различий между ракетами, что связывают преимущественно с разнокачественностью прививок.

Влияние собственно факторов среды во всех случаях невелико: на их долю приходится от 16,65 % (длина 2-й воздушно-сухой учетной хвоинки) до 21,07 % (масса пучка воздушно-сухой хвои). По масштабам такая изменчивость сопоставима с различиями, обусловленными принадлежностью к разным побегам одного дерева и ракетам одного ортета. Совместное влияние перечисленных факторов (ракеты, побеги, среда) обуславливает формирование той части дисперсии признаков, которая не связана с генотипическими особенностями плюсовых деревьев.

Следует отметить, что трехфакторный иерархический дисперсионный анализ подтвердил оценки генотипической обусловленности различий между плюсовыми деревьями по параметрам хвои, проявившихся на объектах ПЛСБ и ЕГСК и отмеченных в ходе однофакторного анализа (табл. 1, 2). При этом он позволил вычленивать долю отдельного влияния таких факторов, как «различия между ракетками» и «различия между учетными побегами».

Сведения, полученные в ходе изучения морфометрических характеристик хвои плюсовых деревьев сосны обыкновенной в составе объектов постоянной лесосеменной базы и единого генетико-селекционного комплекса, позволили сделать выводы и обобщения. Плюсовые деревья сосны обыкновенной, представленные своими клонами в их архивах и на лесосеменных плантациях вегетативного происхождения, существенно различаются по основным количественным характеристикам хвои, имеющим важное биологическое значение. Различия между клонами плюсовых деревьев в значительной степени обусловлены генотипически, что подтверждено результатами дисперсионного анализа, выполненного с применением раз-

ноуровневых схем и вычислением значений показателя силы влияния фактора, действие которого вызвано неодинаковыми внутренними генетическими характеристиками изученных растений. На проявление неоднородности характеристик плюсовых деревьев по признакам хвои заметное влияние оказывают экологические условия, что свидетельствует о некоторой зависимости показателя от них. На долю влияния этого фактора приходится до 21,07 % общего эффекта. Применение трехфакторной схемы иерархического дисперсионного анализа позволяет отдельно учесть и объективно оценить эффект влияния каждого из факторов, действие которых вызывает возникновение общей дисперсии анализируемых признаков. Для оценки селекционных качеств плюсовых деревьев, рекомендуемых для включения в состав вновь создаваемых лесосеменных плантаций, целесообразно использовать показатели размеров и массы хвои как индикатор активности их фотосинтеза и темпов прироста. При создании лесосеменных плантаций повышенной генетической ценности (ЛСП ПГЦ) следует преимущественно вводить в их состав клоны плюсовых деревьев, характеризующиеся повышенными значениями количественных признаков хвои, а именно из состава ассортимента ЛСП № 24: К-14, К-29, К-40, К-99, К-210. При идентификации плюсовых деревьев, а также их вегетативных и семенных потомств, проводимой в ходе ревизии и селекционной инвентаризации лесосеменных плантаций, архивов клонов, испытательных культур, целесообразно использовать в качестве маркерных признаков линейные параметры и массу хвои, а также отношение массы хвои к ее длине и показателю водопотери при высушивании как устойчиво проявляющиеся характеристики с выраженной наследственной обусловленностью.

### Библиографический список

1. Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин. – М.: Наука, 1964. – 190 с.
2. Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале) / С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1972. – 283с.
3. Мольченко, Л.Л. К вопросу ранней диагностики генотипа плюсовых деревьев. / Л.Л. Мольченко // IV съезд Всесоюзного общества генетиков и селекционеров имени Н.И. Вавилова. Кишинев 1–5 февраля 1982 г.: тез. докл. – Кишинев: Штиинца, 1982. – Ч. 3. – С. 61.
4. Мамаев, С.А. Индивидуальная изменчивость в содержании хлорофилла в хвое сосны обыкновенной / С.А. Мамаев // П. Амплитуда изменчивости. Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: тр. Ин-та эколог. раст. и жив. – Свердловск, 1969. – С. 90–95.
5. Лебков, В.Ф. Структурная организация высокопродуктивных сосновых древостоев центра европейской части России / В.Ф. Лебков, Н.Ф. Каплина // Структурно-функциональная организация и динамика лесов: Материалы всероссийской конференции. – Красноярск: ин-тут леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2004. – С. 55 – 57.
6. Бреусова, А.И. Вопросы семеноводства сосны в Казахстане / А.И. Бреусова, В.И. Мосин, В.В. Шульга, Н.С. Сидорова // Леса Урала и хозяйство в них: сб. науч. тр. – Свердловск, 1970. – Вып. 5. – С. 270–274.
7. Луганская, В.Д. Взаимосвязь размеров хвои с ростом по высоте у деревьев сосны в молодняках средней и южной подзоны тайги Урала / В.Д. Луганская // Леса Урала и хозяйство в них: сб. тр. – Свердловск: средне-Уральское кн. Изд-во, 1976. – Вып. 9. – С. 94–97.
8. Пугач, Е.А. Географические культуры сосны обыкновенной в Кировской области / Е.А. Пугач, А.И. Видякин // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция лесных пород: сб. науч. тр. – Воронеж, 1975. – Вып. 2. – С. 77–81.
9. Чернодубов, А.И. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура Pinus Sylvestris L. в островных борах Восточно-Европейской равнины: дисс. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01/ А.И. Чернодубов. – С.-Пб., 1996. – 46 с.
10. Ткаченко, А.Н. Спонтанная и индуцированная изменчивость сосны обыкновенной и ели европейской в условиях Верхнеднепровского лесосеменного района и перспективы организации элитного семеноводства: дисс. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01 / А.Н. Ткаченко. – Брянск, 2000. – 39 с.
11. Шульга, В.В. Внутривидовая изменчивость сосны в Казахстане / В.В. Шульга // Леса Урала и хозяйство в них: сб. науч. тр. – Свердловск, 1970. – Вып. 5. – С. 279–282.
12. Правдин, Л.Ф. Закономерности внутривидовой изменчивости сосны (Pinus L.) и ели (Piceae A. Dietr.) / Л.Ф. Правдин // Доклады ученых – участн. Междунар. симпози. по селекции, генетике и лесному семеноводству хвойных пород (г. Новосибирск, 19 – 25 июня 1972 г.). – Пушкино, 1972. – С. 16–25.

## ЮБИЛЕЙ СЛАВНОГО УЧЕНОГО (к 75-летию со дня рождения профессора Михаила Владимировича Рубцова)

**19** августа 2012 года исполнилось 75 лет выпускнику МЛТИ 1959 г., а ныне ведущему ученому-лесоводу России, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, члену-корреспонденту РАСХН, Заслуженному лесоводу Российской Федерации, лауреату золотой медали им. Г.Ф. Морозова Михаилу Владимировичу Рубцову.

Михаил Владимирович родился в 1937 г. в Москве в семье педагогов. По окончании лесохозяйственного факультета МЛТИ он был направлен в 1-ю Московскую аэрофотолесоустроительную экспедицию В/О «Леспроект», где, проводя устройство горных лесов Киргизии, он ознакомился не только с горной зональностью, но и освоил методы таксации уникальных орехово-плодовых и арчевых лесов. Нельзя не упомянуть, что еще будучи студентом он работал в лесоустроительных партиях на Дальнем Востоке, что заложило в нем интерес сначала к производственной, а затем и к научной работе.

По направлению В/О «Леспроект» в 1961 г. поступил в аспирантуру по кафедре лесоустройства при Ленинградской лесотехнической академии. Там его кумирами стали известные ученые и великолепные педагоги А.А. Байтин и Х.А. Писарьков. Эрудиция, авторитет и интеллигентность этих представителей высшей школы Ленинграда сказались на формировании личности молодого ученого. Результатом работы аспиранта явилась успешная защита кандидатской диссертации «Основы организации лесного хозяйства в запретных полосах вдоль рек Ленинградской области».

Затем М.В. Рубцов более 20 лет проработал во Всероссийском государственном проектно-изыскательском институте «Союзгипролесхоз» – этой обители высокопрофессиональных проектировщиков в области лесного дела. К числу первых проектных разработок М.В. Рубцова, выполненных на государственном уровне Гослесхоза СССР, относятся, в частности, такие серьезные ра-

боты, как «Технико-экономическое обоснование применения постепенных и выборочных рубок в лесах Центрального экономического района» (1967), «Разработка рекомендаций по проведению лесовосстановительных работ и реконструкции насаждений в центральных областях европейской части РСФСР» (1968–1970), опытно-производственные работы по выделению водоохранных лесов вдоль рек и поле почвозащитных лесов в различных лесорастительных зонах европейской части РСФСР» (1970–1971) и ряд других. Примечательно, что все эти работы базировались не только на проектных полевых изысканиях, но и сочетали достаточно глубокие элементы научных исследований. Поэтому не удивительно, что с 1972 г., уже в научной части Союзгипролесхоза, М.В. Рубцов взял за правило проведение длительных экспедиционных и стационарных исследований. Под его руководством и непосредственным участием впервые на Европейском Севере в Коми АССР были организованы и проведены многолетние стационарные и экспериментальные исследования защитно-водоохранных функций лесов в долинах таежных рек, водного баланса ельников, влияния леса на водный режим малых рек. Им развито направление «таежное пой-



Профессор М.В. Рубцов за рабочим столом



М.В. Рубцов проводит экскурсию 20 августа 1999 г. в Порецком лесничестве с участниками регионального совещания «Уникальный опыт создания высокопродуктивных хвойных насаждений в зоне смешанных лесов»

менное лесоведение и лесоводство», ставшее самостоятельной научной школой.

С 1989 по 1992 гг. М.В. Рубцов заведовал лабораторией лесов первой группы во Всесоюзном научно-исследовательском центре по лесным ресурсам, а в 1992 г. вместе с группой сотрудников перешел в Институт лесоведения Российской академии наук, где успешно работает. Здесь он возглавил лабораторию лесоводства, стал научным руководителем Северной лесной опытной станции в Ярославской области и Порецкого опорного пункта в Московской области. Оригинальность проводимых им в Северной ЛОС исследований базируется на использовании комплексных и длительных стационарных наблюдений на специально созданных экспериментальных объектах в лесных фитоценозах, которые формируются как естественно, так и после лесохозяйственных мероприятий.

Особое место в научной деятельности М.В. Рубцова занимают исследования уникального лесокультурного наследия лесовода-классика Карла Францевича Тюрмера. Этой

работой он скрупулезно занимается уже более 40 лет, что позволяет ему на базе уникального материала научно-практической значимости раскрывать тайны исключительно высокой продуктивности рукотворных лесов Тюрмера. Причем, в этой работе он исходит не только из лесокультурной методологии, что обычно и свойственно ученым-лесокulturникам, а дополняет исследования по формированию и динамике структурно-функциональной организации лесных культур изучением еще и тех изменений, которые происходят в их среде под воздействием естественной природы конкретных лесорастительных условий.

М.В. Рубцовым опубликовано более 150 научных работ. Им ведется большая общественная деятельность, работа в самых различных научных советах, секциях. Более 10 лет он является экспертом ВАК.

В лице Михаила Владимировича Рубцова мы видим яркого представителя отечественной школы лесоводства, который неустанным служением науке дает достойный пример молодежи.

**проф. В.Д. Никишов,  
проф. М.Д. Мерзленко,  
доц. П.Г. Мельник**

**Брюквина О.Ю., Лобачев В.И., Малашин А.А. ЗАДАЧА О РАЗМОТКЕ НИТИ С ГРУЗОМ.**

Выполнен анализ особенностей динамического поведения тросовой системы при ее разворачивании на низкой околоземной орбите и проведен анализ данных полета с учетом таких эффектов, как растяжимость троса, распространение поперечных и продольных волн в нем, управление граничным условием на одном из концов разматываемой системы.

Ключевые слова: тросовые системы, поперечные волны, продольные волны, спутник.

**Bryukvina O.U., Lobachev V.I., Malashin A.A. PROBLEM ABOUT DEPLOYMENT OF A STRING WITH CARGO.**

Features of dynamics of tether systems deployment in low Earth orbits were analyzed. There also been made analysis of the data of flight taking into account such effects as a tether system extensibility, distribution of its longitudinal and transverse waves, management of a boundary condition on one of the ends of unwound system.

Key words: tethered system, space, optimal control, trajectory, movement equations.

**Орлов А.Л., Лобачев В.И. ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРОСОВОЙ СИСТЕМОЙ В КОСМОСЕ.**

В статье описаны основные проблемы управления тросовой системой в космосе. Получена система уравнений движения малого спутника и показаны различные стратегии спуска. Проведено сравнение использованной стратегии спуска с реальными данными.

Ключевые слова: тросовая система, космос, оптимальный контроль, траектория, спутник, уравнения движения.

**Orlov A.L., Lobachev V.I. THE BASIC PROBLEMS OF CONTROL TETHERED SYSTEM IN SPACE.**

In this paper the basic problems of control tethered system in space are described. The system of the equations of movement of the subsatellite is received and various strategy of descent is shown. The comparison of the used strategy of descent with the real data is spent.

Key words: tethered system, space, optimal control, trajectory, satellite, movement equations.

**Бурков В.Д., Шукин Д.Г., Степанов И.М. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ УТЕЧЕК ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ.**

Актуальность задачи дистанционного мониторинга атмосферы крупных мегаполисов. Применение лазерных методов контроля. Краткая оценка энергетических характеристик системы.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, лазер.

**Burkov V.D., Schukin D.G., Stepanov I.M. OPTICAL CONTROL METHODS OF LEAKAGES OF GAS EMISSIONS IN PROBLEMS OF MONITORING OF THE ATMOSPHERE.**

Current task of real-time remote detection emissions in megapolis atmosphere. Application of laser control technology. Brief survey energy characteristic system.

Key words: remote detection, laser.

**Березников А.Ю., Дмитриев В.П. МЕТОДОЛОГИЯ ИСПЫТАНИЙ АППАРАТУРЫ ЛАЛС.**

В статье рассмотрена методология испытаний аппаратуры лазерной атмосферной линии связи для построения каналов связи типа «точка–точка». На основании данной методики выбор места установки аппаратуры ЛАЛС должен выполняться с учетом перечисленных в статье рекомендаций и требований для обеспечения наиболее эффективной работы.

Ключевые слова: лазерные линии связи, рекомендации, требования.

**Bereznikov A.Yu., Dmitriev V.P. METHODOLOGY OF TESTS OF EQUIPMENT OF LALS.**

In article is considered methodology of tests of equipment of the laser atmospheric communication line for construction of communication channels, type «point-point». On the basis of the given technique the choice of an installation site of equipment should be executed with given recommendations listed in article and requirements for maintenance of the most effective work.

Key words: laser communication lines, recommendations, requirements.

**Бабин А.В., Козлов И.П. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ СЛОЖНОГО ОБЪЕКТА С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕГО ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК.**

Данная статья посвящена вопросу проектирования системы стабилизации сложных объектов, к которым, в частности, можно отнести ракеты-носители тяжелого класса пакетной компоновки, математическое описание возмущенного движения которых включает ряд специфических динамических особенностей. Исследуется влия-

ние динамических факторов на возможность выбора настроек алгоритма стабилизации. Также рассматриваются методические подходы, позволяющие ослабить негативное влияние этих факторов с использованием методов D-разбиения и частотного анализа.

Ключевые слова: математическая модель, ракета-носитель, устойчивость, возмущенное движение, динамические факторы, система управления, автомат стабилизации, цифровой алгоритм, динамические коэффициенты, метод D-разбиения, области устойчивости, частотные характеристики.

**Babin A.V., Kozlov I.P. DESIGNING OF SYSTEM OF STABILIZATION OF COMPLEX OBJECT IN VIEW OF FEATURES OF ITS DYNAMIC CHARACTERISTICS.**

Given clause is devoted to a question of designing of system of stabilization of complex objects to which, in particular, it is possible to carry launchers of a heavy class of batch layout, the mathematical description of indignant motion of which includes a number of specific dynamic features. Influence of dynamic factors on an opportunity of a choice of adjustments of algorithm of stabilization is investigated. Also the methodical approaches are considered, allowing to weaken negative influence of these factors with use of methods of D-splitting and the frequency analysis.

Key words: mathematical model, the launcher, the stability, the indignant motion, dynamic factors, a control system, the automatic device of stabilization, digital algorithm, dynamic parameters, a method of D-splitting, area of stability, frequency characteristics.

**Асланиди М.Ю., Дмитриев В.П. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ КОММУТАТОРЫ.**

Представлены конструктивные и технологические пути реализации оптоэлектронных интегральных коммутаторов.

Ключевые слова: оптоэлектронные интегральные коммутаторы.

**Aslanidi M.Yu., Dmitriev V.P. OPTICAL ELECTRONIC INTEGRATED SWITCHBOARDS.**

The structural and technological ways of realization of optronic integral switchboards are presented.

Key words: optronic integral switchboards.

**Бедро Н.А., Есаков В.А., Ивлева М.В., Комарова М.Н., Гамкредидзе С.А. АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ПОГРЕШНОСТИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКИХ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ И НАКЛОНОМЕТРОВ ИЗ-ЗА НЕСТАБИЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ.**

В статье рассмотрен метод алгоритмической компенсации нестабильности напряжения питания. Проведенные экспериментальные исследования показали, что алгоритмическая компенсация нестабильности напряжения питания позволяет уменьшить погрешность масштабных коэффициентов и погрешность смещения нулей акселерометров в составе наклономеров в десять и более раз.

Ключевые слова: алгоритмическая компенсация, нестабильность напряжения, погрешность масштабных коэффициентов, погрешность смещения нулей.

**Bedro N.A., Esakov V.A., Ivleva M.V., Komarova M.N., Gamkrelidze M.N. ALGORITHMIC ERROR COMPENSATION OF MICROMECHANICAL ACCELEROMETER AND TILTMETER DUE TO THE INSTABILITY OF SUPPLY VOLTAGE.**

The paper presents a method of algorithmic compensation of voltage instability. The experimental results showed that the algorithmic compensation of voltage instability can reduce the error in scale factor and zero offset error of accelerometers in the tiltmeter is ten times or more.

Key words: algorithmic compensation, voltage instability, error in scale factor, zero offset error.

**Богданов А.А., Дмитриев В.П. ОСНОВА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ АТМОСФЕРНЫХ КАНАЛОВ.**

Программно-аппаратная реализация оптоэлектронного атмосферного канала (ОАК) заключается в следующем:

- определение оптических и электрических параметров ОАК;
- точность установки и наводки ОАК;
- расчет влияния внешних оптических помех на работу ОАК;
- разработка системы кодирования информации.

Расчет оптической системы заключается в определении доли излучаемой мощности, попадающей на фотоприемник. Расчет электрических параметров заключается в стабильной работе приемопередающего тракта при любой погоде. Точность установки и наводки оптических систем позволяет совместить их фокусные расстояния на оптической оси для обеспечения максимальной мощности приема сигнала. Расчет влияния внешних оптических помех будет служить исходным данным для разработки ОАК. Выбор оптимальной системы кодирования сигнала в ОАК зависит от взаимодействия всех подсистем и условий среды передачи.

Ключевые слова: оптические параметры, электрические параметры, установка, наводка, система кодирования.



**Bogdanov A.A., Dmitriev V.P. BASIS OF HARDWARE-SOFTWARE REALIZATION OF OPTICAL ELECTRONIC ATMOSPHERIC CHANNELS.**

The firmware realization of the Optical-electronic atmospheric channel (OEAC) is contained in:

- determination of the optical and electrical parameters of OEAC;
- accuracy of installation and focusing of OEAC;
- calculation of the external optical interferences influence on OEAC work;
- development of coding information system.

The calculation the optical system consists of the determination of the part of the radiated power, which falls on photoreceiver. The calculation of the electrical parameters consists of stable work of the receiving-transmitting circuit way in all weather. The accuracy of the optical systems installation and focusing permits to combine their focal lengths on the optical axis, to supply it with maximum power of the reception signal. The calculation the influence of external optical interferences, will be serve as initial data for development of OEAC. The selection of the optimum system of coding signal in OEAC depends on interaction between all subsystems and conditions of the transfer environment.

Key words: optical parameters, electrical parameters, installation, focusing, coding information system.

**Полещук О.М., Комаров Е.Г. ОЦЕНКА И МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА КАДРОВОГО СОСТАВА ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ.**

В статье предлагается система объективных технологий, механизмов, моделей и методик оценки и мониторинга качества кадрового состава учебных подразделений высших учебных заведений.

Ключевые слова: оценка и мониторинг, персонал, качество.

**Poleshchuk O.M., Komarov E.G. THE PERSONNEL EVALUATION SYSTEM OF HIGHER EDUCATION AND MONITORING.**

A system of objective techniques, tools, models and techniques for evaluation and monitoring the quality of the personnel of higher education is suggested in this paper.

Key words: evaluation and monitoring, personnel, quality.

**Полещук О.М. ПОСТРОЕНИЕ ГРУППОВОЙ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.**

В статье предлагается модель построения групповой экспертной оценки сложных технических систем, позволяющая максимально учесть информацию, полученную от каждого эксперта, контролируя при этом согласованность этой информации.

Ключевые слова: групповая экспертная оценка, лингвистическая переменная, функция принадлежности.

**Poleshchuk O.M. CONSTRUCTING AN EXPERT GROUP EVALUATION OF QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS.**

An expert group model for evaluation of qualitative characteristics of complex technical systems is suggested in this paper. The model allows to take into account the individual expert information and to control the consistency of information.

Key words: expert group evaluation, linguistic variable, membership function.

**Домрачев В.Г. Скрипник А.А. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОЦЕНКУ МАССЫ В СИСТЕМАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКОСТИ В РЕЗЕРВУАРАХ.**

В статье описано влияние температуры на оценку массы в горизонтальных и вертикальных резервуарах при использовании систем измерения параметров жидкости. Предложен способ компенсации этого влияния на основе использования статистических данных.

Ключевые слова: система измерения параметров жидкости в резервуаре, измерение уровня нефтепродуктов, оценка массы, температурная погрешность.

**Domrachev V.G. Skripnik A.A. TEMPERATURE INFLUENCE ON WEIGHT ASSESSMENT IN LIQUID PARAMETERS DETECTION SYSTEMS IN TANKS.**

Article describes temperature influence on weight assessment in horizontal and vertical tanks, using liquid parameters measuring systems. Offered a way of its compensation on basis of using statistical data.

Key words: liquid parameters measuring system, oil products level measuring, weight assessment, temperature error.

**Дубровский Н.А., Козлов И.П. ПРИЕМ И ОБРАБОТКА РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВК, ПОСТУПАЮЩИХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.**

Рассматриваются дифференциальные поправки и возможность их обработки и приема в режиме реального времени.

Ключевые слова: навигационная система, дифференциальные поправки, реальное время, конечный автомат.

**Dubrovskiy N.A., Kozlov I.P. RECEPTION AND PROCESSING OF NAVIGATION DIFFERENTIAL CORRECTION SIGNALS.**

Studying of differential correction signals and possibility of its reception and processing in real time.

Key words: navigation system, differential correction signals, real time, finite state machine.

**Дубровский Н.А., Козлов И.П. РЕАЛИЗАЦИЯ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВКИ, ПОСТУПАЮЩИХ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ.**

Рассматривается устройство и реализация конечного автомата для обработки дифференциальных поправок в режиме реального времени.

Ключевые слова: конечный автомат, дифференциальные поправки, реальное время.

**Dubrovskiy N.A., Kozlov I.P. FINITE STATE MACHINE REALIZATION FOR PROCESSING OF NAVIGATION DIFFERENTIAL CORRECTION SIGNALS IN REAL TIME.**

Studying of finite state machine realization and processing differential correction signals in real time.

Key words: finite state machine, differential correction signals, real time.

**Жерновенков В.А., Тарасенко П.А., Пушкин Н.М. ИЗМЕРЕНИЕ СВЧ ПАРАМЕТРОВ МОДУЛЕЙ АФАР И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НА АВТОМАТИЗИРОВАННОМ СТЕНДЕ.**

Представлены алгоритмы измерения СВЧ параметров модулей АФАР и обработке результатов на автоматизированном стенде. Разработанный алгоритм и программное обеспечение позволило значительно сократить время на измерение СВЧ параметров модулей, а следовательно, и увеличить производительность

Ключевые слова: алгоритм, программное обеспечение, стенд, измерение параметров, модуль АФАР.

**Zhernovenkov V.A., Tarasenko P.A., Pushkin N.M. MICROWAVE PARAMETERS MEASURING OF ACTIVE PHASED ARRAY MODULE AND INFORMATION PROCESSING ON THE AUTOMATED BENCH.**

Algorithms microwave parameters measuring of active phased array module and information processing on the automated bench are presented. The developed algorithm and software allowed to decrease significantly the time for measuring the module parameters and therefore to increase the productivity.

Key words: algorithm, software, bench, parameters measuring, active phased array module.

**Завитаев Э.В., Русаков О.В., Юшканов А.А., Харченко В.Н. ОТКЛОНЕНИЕ ОТ ЗАКОНА ВИДЕМАНА–ФРАНЦА В СУБМИКРОННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПРОВОЛОКЕ.**

Впервые решена задача о влиянии отклонения от закона Видемана–Франца на электрическую проводимость субмикронной цилиндрической проволоки из металла. В качестве граничного условия задачи принято условие зеркально-диффузного отражения электронов от внутренней поверхности проволоки. Рассмотрены предельные случаи и проведено обоснование полученных результатов.

Ключевые слова: тонкая проволока, функция распределения, электрическая проводимость.

**Zavitaev E.V., Rusakov O.V., Yushkanov A.A., Kharchenko V.N. DEVIATION FROM THE WIEDEMANN–FRANZ IN SUBMICRON CYLINDRICAL WIRE.**

The problem of deviations from the Wiedemann–Franz law for electrical conductivity of the submicron cylindrical metal wire was solved for the first time. As a boundary condition was accepted the mirror-diffuse reflection of electrons from the inner surface of the wire. The ultimate cases were considered and the obtained results were discussed.

Key words: thin wire, the distribution function, the electrical conductivity.

**Катулев А.Н., Кузнецов А.Ю. ТЕОРЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ АВТОНОМНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ.**

В статье разработан метод исследования динамической устойчивости автономных нелинейных динамических систем без использования функции Ляпунова. Приведены теоремы, утверждающие применимость метода для уравнений в частных производных и интегро-дифференциальных уравнениях. Разработанный метод основан на исследовании сопряженных систем как линейных и однородных относительно сопряженных фазовых координат и последующем переносе полученных результатов для исходной нелинейной системы.

Ключевые слова: устойчивость, нелинейность, функция Ляпунова.

**Katulev A.N., Kuznetsov A.U. THEOREMS ABOUT STABILITY NONLINEAR AUTONOMOUS DYNAMIC SYSTEMS.**

In this article the method of investigation of the dynamic stability of autonomous nonlinear dynamic systems without using Lyapunov function is developed. Theorems confirming this method applicability for partial and integro-differential equations are resulted. The developed method is based on research of conjugated systems as linear and homogeneous concerning the conjugate phase coordinates and the subsequent carrying over of the received results for initial nonlinear system.

Key words: stability, nonlinearity, Lyapunov function.

**Лесин Д.Н., Лесин Н.И. ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФАР МЕТОДОМ НЕПОДВИЖНОГО ЗОНДА.**

Проведен анализ вероятности принятия правильного решения о работоспособности фазированных антенных решеток с помощью метода неподвижного зонда. Показано, что уменьшение относительных погрешностей измерений контролируемых параметров ФАР, для фиксированного критерия отказа и неизменных значений допусков на них приводит к увеличению вероятности принятия правильного решения.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, вероятность принятия правильного решения, работоспособность, достоверность контроля.

**Lesin D.N., Lesin N.I. RELIABILITY OF CONTROL OF WORKING CAPACITY OF PHASED ARRAYS A METHOD OF A MOTIONLESS PROBE.**

The analysis of probability of acceptance of the correct decision on working capacity of the phased antenna lattices by means of a method of a motionless probe is passed. It is shown that reduction of relative errors of measurements of controllable parameters of phased arrays, for the fixed criterion of refusal and invariable values of admissions on them leads to increase in probability of acceptance of the correct decision.

Key words: the phased array, probability of adoption of the correct decision, working capacity, reliability of control.

**Лесин Д.Н., Лесин Н.И. НАЗНАЧЕНИЕ ДОПУСКОВ НА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ФАР.**

Предложен подход к обоснованию допусков на погрешности измерений амплитуд и фаз поля в ближней зоне фазированной антенной решетки.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка, допуски, амплитуды и фазы поля, ближняя зона.

**Lesin D.N., Lesin N.I. APPOINTMENT OF ADMISSIONS TO ERRORS OF MEASUREMENTS OF PARAMETERS OF A FIELD IN A NEAR ZONE OF FAR.**

The approach to a substantiation of admissions on an error of measurements of amplitudes and field phases in a near zone is offered by the phased array

Key words: the phased array, admissions, amplitudes and phases, a near zone.

**Ретинский В.С., Ретинская И.В., Гридина Е.Г. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.**

Показано, что в ряде задач расчета сложных систем с распределенными параметрами становится необходимым применение численных методов обратного преобразования Лапласа. Его применение связано с рядом трудностей. Имеются изображения, которые являются решением систем линейных уравнений. Необходимо восстановить по ним оригиналы. Для решения этой проблемы предлагается метод, основанный на разложении оригинала в ряд Фурье по ортогональной системе функций.

Ключевые слова. моделирование, динамические процессы, преобразование Лапласа, системы с распределенными параметрами, численные методы.

**Retinskiy V.S., Retinskaya I.V., Gridina E.G. NUMERICAL METHOD OF CALCULATING THE COMPLEX SYSTEMS WITH DISTRIBUTED PARAMETERS FOR MODELING AND CONTROLLING OF DYNAMIC PROCESS.**

It is shown that in some of the complex systems problems with distributed parameters, it becomes necessary to use numerical methods for inverse Laplace transform. Its use is associated with a number of difficulties. There are images that are the solution of linear equations systems. It is necessary to restore on them originals. For the solution of this problem the method based on decomposition of the original in a row by Fourier on orthogonal system of functions is offered.

Key words. modelling, dynamic process, Laplace transform, systems with distributed parameters, numerical methods.

**Шустов И.Е., Гамкрелидзе С.А., Тарасенко П.А. АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕЦИЗИОННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ.**

В настоящее время для космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли и космических телескопов, в системах управления которых используются гироскопические измерители вектора угловой скорости (ГИВУС), большое значение имеет такой параметр измерителей, как шумовая составляющая в выходной информации. Это связано с тем, что величина «шума» непосредственно влияет на качество получаемых с КА снимков. В данной работе приводятся основные направления по уменьшению шумовой составляющей в выходной информации прецизионных гироскопических измерителей вектора угловой скорости на базе поплавковых гироскопов с газодинамической опорой ротора и магнитным центрированием поплавка. Также в работе приводится экспериментальная оценка эффективности примененных усовершенствований на примере макета измерительно-

го канала нового прибора. Согласно этой оценке, достигнуто уменьшение шумовой составляющей прибора с 0,15 угл.с до 0,03 угл.с по среднеквадратичному отклонению.

Ключевые слова: гироскопическая система, угловая скорость, измерительный канал, шумовая составляющая.

**Shustov I.E., Gamkrelidze S.A., Tarasenko P.A. DOUBLE-CIRCUIT SYSTEM OF PRECISION ANGULAR VELOCITY MEASURER ERROR ANALYSIS.**

Today the very important characteristic for such spacecrafts as spacecrafts of remote Earth sensing and space telescopes, which using gyroscopic measurers of angular velocity vector (GMAVV) in their control systems, is a noise component in the output information. It is connected with the direct influence of «noise» amplitude and quality of pictures, received from spacecraft. In present work are resulting the main directions on decreasing of noise component in the output information of precision gyroscopic measurers of angular velocity vector, built on floating gyros with gas-dynamic bearings and magnetic float alignment. Experimental efficiency estimation of applied improvements on example of new GMAVV measuring channel model is also resulting in this work. Decreasing of noise component in the output information from 0.15 to 0.03 seconds of arc by root mean square deviation is reached according to this estimation.

Key words: gyroscopic system, angular velocity, measurement channel, noise component.

**Лесин Н.И., Лесин Д.Н., Степанов И.М. ОШИБКИ ПРИ ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ.**

Проведен анализ вероятностей ложного и необнаруженного отказов при оценке технического состояния сложных систем, учитывающий их полноту контроля при фиксированном критерии отказа. Показано, что увеличение полноты контроля приводит к увеличению вероятности ложного отказа и уменьшению вероятности необнаруженного отказа. Последняя имеет экстремум по оси относительных погрешностей измерений.

Ключевые слова: сложная система, вероятности ложного и необнаруженного отказов, полнота контроля.

**Lesin N.I., Lesin D.N. Stepanov I.M. ERRORS AT AN ESTIMATION OF A TECHNICAL CONDITION OF DIFFICULT SYSTEMS.**

The analysis of probabilities of false and undetected refusals is carried out at an estimation of a technical condition of the difficult systems, considering their completeness of control at the fixed criterion of refusal. It is shown that the increase in completeness of control leads to increase in probability of false refusal and reduction of probability of undetected refusal. Last has an extremum on an axis of relative errors of measurements.

Key words: difficult system, probabilities of false and undetected refusals, completeness of control.

**Домрачев В.Г., Котов Ю.Т., Подрезов М.В., Степанов И.М. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНЫХ ПАКЕТОВ.**

Лабораторные практикумы по электронным дисциплинам, читаемым в вузе, являются составной частью учебного процесса. Их проведение на современном этапе развития информационных технологий обеспечивается использованием программных продуктов. Подобная реализация позволяет студентам в большей степени проявлять творческий подход к проектированию электронных устройств и оперативно получать конкретный результат. В статье описан метод исследования и представлены результаты компьютерного моделирования схем на базе программного пакета Electronics Workbench, v.5.12 и Multisim, v. 9 фирмы Interactive Image Technologies Ltd (Canada).

Ключевые слова: программный пакет, схема «точного диода», Electronic Workbench, Multisim, входной сигнал, осциллограмма.

**Domrachev V.G., Kotov Yu.T., Podrezov M.V., Stepanov I.M. ELECTRONICS WORKBENCH И MULTISIM ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ.**

Laboratory workshops on electronic disciplines presented in university-mym are an integral part of the learning process. Their conduct on the modern stage of development of an alternating ensured by the use of information technology software products. This implementation allows students to be more creative approach to the design of electronic devices and to receive a particular result. This paper describes a method for the investigation and the results of computer simulation of circuits based on a software package Electronics Workbench, v.5.12, and Multisim, v. 9 firm Interactive Image Technologies Ltd (Canada).

Key words: the software package, the scheme «exact diodes», Electronic Workbench, Multisim, the input signal waveform.

**Гридина Е.Г., Домрачев В.Г., Гавриков В.А., Котов Ю.Т. АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ И МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ.**

Алгоритмы обработки информации с использованием микропроцессоров и микроконтроллеров имеют ряд ограничений, не позволяющих давать полную информацию об исследуемом объекте. В статье описан подход, дающий оценку характеристикам объектов по вероятностным характеристикам выбросов случайных процессов, являющихся одним из информационным критериев его функционирования.

Ключевые слова: алгоритм, микропроцессор и микроконтроллер, обработка информации, выбросы, теория выбросов случайных процессов.

**Gridina E.G., Domrachev V.G., Gavrikov V.A., Kotov Yu.T. THE ALGORITHM OF INFORMATION PROCESSING FOR MICROPROCESSORS AND MICROCONTROLLERS.**

Algorithms for processing using microprocessors and microcontrollers have a number of limitations to give complete information about the object under study. This article describes an approach that provides an assessment of the characteristics of objects probabilistic emission characteristics of random processes, which are one of the criterion functions.

Key words: algorithm, microprocessor and microcontroller, information processing, emission, emission theory of stochastic processes.

**Домрачев В.Г., Гавриков В.А., Котов Ю.Т. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ.**

Достоверность принимаемых решений о характеристиках исследуемого объекта при использовании технических средств контроля и диагностики зачастую определяется выбором метода проведения исследования состава и значений этих характеристик. В статье описан непараметрический метод, включающий адекватную образцу исследуемого объекта математическую модель конкретной физической ситуации, на основании которой предложен классификатор, отображающий исследуемые характеристики в наглядной и удобной для оператора форме.

Ключевые слова: алгоритм, образ, измерительная система, непараметрический метод, классификатор.

**Domrachev V.G., Gavrikov V.A., Kotov Yu.T. NONPARAMETRIC ALGORITHM FOR PATTERN RECOGNITION FOR THE HARDWARE MONITORING AND DIAGNOSTICS.**

The reliability of the decisions taken on the characteristics of the object using hardware monitoring and diagnostics is often determined by the choice of the method of studying the composition and the values of these characteristics. This paper describes a nonparametric method, which includes an adequate image of the object-specific mathematical model of the physical situation on the basis of which the proposed classifier, showing the studied characteristics in an intuitive and easy for the operator of the form.

Key words: Algorithm, image, measurement system, nonparametric method, classifier.

**Бедро Н.А., Есаков В.А., Ивлева М.В., Комарова М.Н., Гамкредидзе С.А. КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЫХОДНЫЕ ПОКАЗАНИЯ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА В СОСТАВЕ ИНКЛИНОМЕТРА.**

Известно, что на точность микромеханических датчиков влияет изменение внешних воздействующих факторов, в частности изменение температуры окружающей среды. Данная статья посвящена повышению точности работы прибора на основе микромеханического акселерометра, путем ввода коррекции по температуре.

Ключевые слова: точность, микромеханический датчик, температура, коррекция.

**Bedro N.A., Esakov V.A., Ivleva M.V., Komarova M.N., Gamkrelidze S.A. COMPENSATION OF THE TEMPERATURE EFFECT ON OUTPUT INDICATIONS MICROMECHANICAL ACCELEROMETER PART INCLINOMETERS.**

It is known, that accuracy of micromechanical gauges is influenced by change of external influencing factors, in particular ambient temperature change. Given article is devoted increase of accuracy of work of the device on the basis of micromechanical accelerometer, by correction input on temperature.

Key words: accuracy, micromechanical gauges, temperature, correction.

**Жердева Е.В., Царев О.В. МЕТОД КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ В ДИНАМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ.**

В статье рассмотрены основные вопросы диагностики вторичных источников питания и пути их решения. Предлагается один из методов контроля технического состояния этих источников в динамическом режиме.

Ключевые слова: вторичный источник питания, динамический режим, техническое состояние.

**Zherdeva E.V., Tsarev O.V. METHOD CONTROL OF TECHNICAL CONDITION SECONDARY SOURCES OF POWER IN THE DYNAMIC MODE.**

In the article observed basic questions of diagnostics for secondary power sources and ways of their solution. Offers one of the methods to control technical condition of these sources in the dynamic mode.

Key words: the individual equipment, the chemical current source, optimization criterion, the nomenclature, the standard series.

**Афанасьев А.С., Князев Р.И., Мейко Б.С., Сулов В.М. ВЫСОКОТОЧНАЯ ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНО СЛОЖНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.**

В работе рассматривается высокоточный расчетно-экспериментальный метод оценки и прогнозирования надежности изделий в процессе их разработки.

Ключевые слова: электротехнические изделия, закон распределения вероятности, структурная схема надежности, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов.

**Afanasiev A.S., Knyazev R.I., Meiko B.S., Suslov V.M. HIGH PRECISION OPERATIONAL ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF FUNCTIONAL COMPLEX OF ELECTROTECHNICAL PRODUCTS.**

In work is considered highly accurate calculation-experimental method of an estimation and forecasting of reliability of products in the process of their development.

Key words: electrical engineering, the law of probability distribution block diagram of reliability, the probability of trouble-free operation, failure rate.

**Афанасьев А.С., Суслов В.М., Болдырев М.А. КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ НОМЕНКЛАТУРЫ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ КОМПЛЕКТОВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЭКИПИРОВКИ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ.**

В статье рассмотрены типовые задачи унификации номенклатуры химических источников тока для систем электропитания комплектов индивидуальной экипировки военнослужащих и основные критерии их оптимизации.

Ключевые слова: индивидуальная экипировка, химический источник тока, критерий оптимизации, номенклатура, типоразмерный ряд.

**Afanasev A.S., Suslov V.M., Boldyrev M.A. CRITERIA OPTIMIZATION OF NOMENCLATURE CHEMICAL POWER SOURCES POWER SYSTEMS SETS INDIVIDUAL MILITARY CLOTHING.**

The article deals with common tasks unify the nomenclature of chemical power sources for electric power supply systems of individual packages of military equipment and the main criteria for optimizing

Key words: the individual equipment, the chemical current source, optimization criterion, the nomenclature, the standard series.

**Белов О.И., Болдырев М.А., Воронцов П.С., Нижниковский Е.А. ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИТИЕВЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА.**

В работе дана классификация источников тока по их взрывоопасности, проведен анализ причин, приводящих к взрывам литиевых источников тока, в частности литий-тионилхлоридные, литий-диоксид марганцевые элементы и литиевые аккумуляторы. Предложен ряд конструкторско-технологических решений, направленных на гарантированное обеспечение пожаровзрывобезопасности литиевых источников тока.

Ключевые слова: химические источники тока, взрывобезопасность, литиевые источники тока, литий-тионилхлоридные элементы.

**Belov O.I., Boldyrev M.A., Voroncov P.S., Nizhnikovskij E.A. SPECIFIC FEATURES OF ENSURING THE SAFE OPERATION OF LITHIUM CHEMICAL SOURCES OF CURRENT.**

In the work is given the classification of the sources of a current on their explosion hazard, the analysis of the causes that lead to explosions lithium power sources, in particular lithium– thionyl chloride, lithium-manganese dioxide cells and lithium batteries. A number of design and technological solutions aimed at ensuring fire and explosion safety of lithium power sources.

Key words: chemical sources of a current, explosion, lithium power sources, lithium– thionyl chloride elements.

**Серегин Н.Г., Сорокин С.В. ВНЕДРЕНИЕ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ В СИСТЕМУ ТАРИРОВКИ И ИСПЫТАНИЙ УСТРОЙСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.**

В статье рассмотрены преимущества волоконно-оптических датчиков температуры по помехозащищенности от электромагнитных полей, чувствительности, габаритам и весу, коррозионной и радиационной стойкости и электроизоляционной прочности перед датчиками температуры на основе термопар и термометров сопротивления. Рассмотрены два способа оценки воздействия внешней среды с помощью оптического волокна, в первом из которых волоконный световод используется лишь для подвода и отвода световой энергии к термочувствительному элементу. Во втором световод выполняет роль чувствительного элемента. Поставлена задача по созданию системы тарировки и поверки датчиков температуры на основе термопар и термометров сопротивления.

Ключевые слова: амплитудная модуляция света, фазовая модуляция света, интерференция, поляризация датчики, частотные датчики, волоконный световод, оптические волокна.

**Seregin N.G., Sorokin S.V. AN IMPLEMENTATION OF FIBER-OPTIC TEMPERATURE SENSORS TO THE SYSTEM OF CALIBRATION AND TESTING MEASURING DEVICES.**

In article studies the advantages of fiber-optic temperature sensors for immunity to electromagnetic fields, sensitivity, size and weight, corrosion and radiation resistance and electrical insulation strength to temperature sensors based thermocouples and resistance thermometers. Two methods of environment effect assessment with an optical fiber. In the first, light-guide is used only for the supply and removal of light energy to the thermal element. In the second, the light-guide like a sensor. The task is to create a system calibration and testing of temperature sensors on the basis of thermocouples and RTDs.

Key words: amplitude modulation of the light phase modulation of light, interference, polarization sensors, frequency sensors, light-guide, optical fiber.

**Сапожников В.Б., Рыжов Е.В., Корольков А.В. ОБ ОДНОМ ИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ СЕБЕСТОИМОСТИ ДОБЫЧИ НЕФТИ.**

Представлены результаты экспериментального и численного исследования гидравлического сопротивления двух видов клапанов насосных установок. Сделаны оценки экономического эффекта замены менее эффективных клапанов более эффективными.

Ключевые слова: добыча нефти, всасывающие клапаны, коэффициент местного гидравлического сопротивления, лабораторный эксперимент, аппроксимация данных, расчет экономического эффекта.

**Sapozhnikov V.B., Ryzhov E.V., Korolkov A.V. ABOUT ONE OF TECHNICAL DECISIONS ON DECREASE IN THE COST PRICE OF AN OIL RECOVERY.**

Results of experimental and numerical research of hydraulic resistance of two kinds of pump valves are presented. Estimations of economic benefit of replacement of less effective valves by more effective have been made.

Key words: the oil recovery, soaking up valves, coefficient of local hydraulic resistance, laboratory experiment, approximation of data, calculation of economic benefit.

**Лемесев К.А. МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ СЕТИ ИНТЕРНЕТ.**

Различные приложения, основанные на данных из Интернета, таких как мониторинг и сравнение цен, требуют получения данных, распределенных по множеству веб-сайтов. В настоящей статье рассмотрено применение существующих инструментов для получения данных и предложен новый метод создания таких инструментов. Определено значение термина «обертка». Описано применение инструментов для извлечения информации из Интернета, показаны недостатки существующих инструментов. Представлены преимущества нового метода.

Ключевые слова: Интернет, веб-сайт, извлечение информации, структурированные данные, обертка.

**Lemesev K.A. MODELS AND METHODS OF EXTRACTION OF STRUCTURED INFORMATION FROM THE INTERNET.**

Various web applications such as online price comparisons and competition monitoring require retrieval of distributed information from the Internet. This paper examines the suitability of software toolkits for the extraction of data from websites and presents a new way of creating toolkits. The term «wrapper» is defined. Short overview of presently available toolkits for generating wrappers and their limitations are provided. Advantages of the new method are presented.

Key words: Internet, website, information extraction, structured data, wrapper.

**Ветошкин А.М. ФРОБЕНИУСОВЫ ЭНДОМОРФИЗМЫ МНОЖЕСТВА ПРОЕКТОРОВ.**

Построено семейство отображений проекторов в проекторы, близкие по своим свойствам к отображению сопряжения комплексных матриц.

Ключевые слова: каноническая форма проектора, унитарное подобие, фробениусов эндоморфизм, инволюция.

**Vetoshkin A.M. FROBENIUS ENDOMORPHISMS BY SET OF PROJECTORS.**

The family of mappings of projectors to projectors, similar on the properties of mapping of Hermitian adjoint of complex matrixes is constructed.

Key words: canonical form of projector, unitary similarity, frobenius endomorphism, involution.

**Хайбулина К.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИИ.**

В данной работе обоснованы и определены возможности применения средств информатизации в учебном процессе на уроках биологии. Автором представлена методика организации познавательной деятельности учащихся с применением средств информационно-коммуникационных технологий на уроках биологии в 8 классах. Разработаны методические рекомендации по применению современных средств ИКТ, способствующих повышению эффективности обучения биологии.

Ключевые слова: компьютер, информатизация, компьютерные технологии, наглядность, тесты, методика, компьютерная программа.

**Khaybulina K.V. USE IS INFORMATION COMMUNICATION TECHNOLOGIES AT STUDYING BIOLOGY.**

This particular work defines the use of the means of ICT in biology classes in secondary school. The author presents the methodology of organizing cognitive activity of secondary school student with the of ICT in biology classes. A set methodical recommendations of using ICT has been developed.

Key words: computer, information, computer technologies, presentation, tests, technique, the computer program.

**Воронцов В.Л., Самойлов П.А. ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ ПОСТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ БОРТОВЫХ РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА КОСМОДРОМА.**

С учетом полученных ранее результатов исследований определены на основе проблемно-ориентированного морфологического анализа наиболее рациональные сценарии осуществления стратегий построения и развития бортовых радиотелеметрических систем (БРТС) и программно-технических средств (ПТС) телеметрического комплекса космодрома (ТК). Обоснована целесообразность выбора актуального сценария по реальным результатам развития БРТС и ПТС для ТК и соответствующих информационных технологий.

Ключевые слова: телеметрический комплекс космодрома, бортовая радиотелеметрическая система, программно-технические средства, телеметрическая информация, ракетно-космическая и ракетная техника.

**Vorontsov V.L., Samoilov P.A. BASES OF THE CONCEPT OF CONSTRUCTION AND DEVELOPMENT OF ONBOARD RADIO TELEMETRY SYSTEMS AND PROGRAMME AND TECHNICAL MEANS OF THE COSMODROME TELEMETRY COMPLEX.**

With the account of the research results received before the most rational scenarios of realization of strategy of construction and development of onboard radio telemetry systems (BRTS) and program and technical means (PTS) of the cosmodrome telemetry complex (TK) are defined on the basis of the problem-focused morphological analysis. The expediency of a choice of the actual scenario by real results of development BRTS and PTS for TK and the corresponding information technology is proved.

Key words: telemetric complex of the spaceport, onboard radio telemetric system, program means, telemetric information, space-rocket and rocketry.

**Бедро Н.А., Воронин И.В., Комарова М.Н. НАНОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИЕЙ.**

В данной статье описывается возможность реализации датчиков для регистрации ускорений, угловых скоростей и тепловых полей, используя эффект автоэлектронной эмиссии электронов. Проведенные исследования показали, что использование автоэлектронных преобразователей позволяет получить более чем на порядок ниже спектральную плотность шума нулевого сигнала и минимальную погрешность масштабного коэффициента, что значительно повышает характеристики по точности.

Ключевые слова: автоэлектронная эмиссия, наноэлектромеханический измерительный преобразователь линейного ускорения, наноэлектромеханический измерительный преобразователь угловой скорости и линейного ускорения, наноэлектромеханический измерительный преобразователь для обнаружения и определения параметров тепловых полей малой интенсивности в инфракрасной и терагерцовой области спектра, вискер.

**Bedro N.A., Voronin I.V., Komarova M.N. NANOELECTROMECHANICAL TRANSMITTERS WITH FIELD EMISSION.**

This article describes the design of the sensors for acceleration, angular velocity and thermal fields, using the effect of field emission of electrons. The research have shown that the use of field-emission converters yields to more than an order of magnitude below the noise spectral density of the zero signal and minimizes error scaling factor, that significantly improves performance in terms of accuracy.

Key words: field emission, nanoelectromechanical transducer of linear acceleration, nanoelectromechanical transducer angular velocity and linear acceleration, nanoelectromechanical transducer to detect and determine the parameters of thermal fields of low intensity infrared and terahertz spectral region, whisker.

**Солдатенков В.А., Грузевич Ю.К., Левкович А.Д., Литвак Э.С. УСТРОЙСТВО НАБЛЮДЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ УДАЛЕННОГО ОБЪЕКТА.**

Статья посвящена разработке прибора для регистрации изображения удаленного объекта с определением географических координат. Приводится алгоритм работы прибора. Описывается принцип действия коллимирующего оптического модуля, позволяющего спроецировать координатную информацию с микродисплея на матрицу фотоаппарата.

Ключевые слова: географические координаты, оптический модуль, лазерный дальномер, широта, долгота, алгоритм.

**Soldatenkov V.A., Gruzevich U.K., Levkovich A.D., Litvak E.S. Optoelectronic device for DETERMINING THE GEOGRAPHICAL COORDINATES OF A REMOTE OBJECT.**

The article is devoted to the development of the compact optoelectronic device for image recording the remote objects with the determination of their geographical coordinates. Optical schematic of the device with the algorithm of its operation are provided. The principle of operation and method of calculation are described. The description of the collimating optical system that provides the registration of geographical coordinates, date and time of recording the object on his photo or video images is provide.

Key words: geographic coordinates, optical module, laser range finder, latitude, longitude, algorithm.



**Литвак Э.С., Попов А.Ю., Левкович А.Д. МОДУЛЬ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ С НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ И ЛАЗЕРНОГО ДАЛЬНОМЕРА.**

В статье рассматривается состав и принцип действия специализированной печатной платы, осуществляющей прием и обработку данных. Описывается система на кристалле, реализующая различные алгоритмы вычисления географических координат удаленного объекта. Подробно рассматривается принцип вывода графической информации в формате VGA.

Ключевые слова: модуль обработки, Xilinx, видеоконтроллер, MicroBlaze, навигационная система, лазерный дальномер, видеопамять.

**Litvak E.S., Popov A.U., Levkovich A.D. INFORMATION PROCESSING UNIT FROM THE NAVIGATION SYSTEM AND LASER RANGEFINDER.**

The article is devoted to the structure and operation of the specialized printed circuit board designed to receive and process data. The system on a chip that implements various algorithms for calculating geographical coordinates of the remote object is described. The architecture for rendering graphical information in VGA format is described in details.

Key words: processing module, Xilinx, video controller, MicroBlaze, navigation system, laser rangefinder, video memory.

**Грушин М.А. РАСПОЗНАВАНИЕ КРОН ДЕРЕВЬЕВ НА СНИМКАХ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ.**

В статье проведен анализ метод прямой обработки снимков высокого разрешения с целью распознавания кроны деревьев и предложены способы его усовершенствования. Проведено сравнение и анализ различных подходов к обработке изображений с использованием различных шаблонов.

Ключевые слова: распознавание, снимки, анализ, крона, деревья, методы, гаусс, корреляция.

**Grushin M.A. TREE CROWN RECOGNITION USING HIGH DEFINITION AERIAL IMAGES.**

In this article direct processing method of tree crown recognition using high definition images was analyzed. Some improvements were also made to this method. Analysis and comparison were made to the various approaches of processing the aerial images with different template use.

Key words: recognition, photographs, analysis, crown, trees, methods, gauss, correlation.

**Троицкий А.А. СТАРТОВЫЙ НАБОР ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ МИКРОСХЕМЫ ATTINY 2313.**

Многие компании предлагают ряд микропроцессорных систем для применения в промышленной автоматизации, в деревообрабатывающем производстве и лабораторном оборудовании. Одним из таких продуктов является стартовый набор, показывающий технические возможности конкретной микросхемы. В статье описан стартовый набор для микросхемы ATtiny 2313 компании ATMEL. Это не очень сложная микросхема, но на ее основе можно изучить все процессы построения системы управления однофазным конденсаторным двигателем. Система была разработана преподавателями и студентами кафедры автоматизации и управления.

Ключевые слова: стартовый набор, микросхема, система управления, однофазный конденсаторный двигатель.

**Troitsky A.A. STARTER-KIT FOR INVESTIGATION MICROCONTROLLER ATTINY 2313.**

Many companies offer a range of microprocessor systems for application in industrial automation, wood machinery and laboratory equipment. One of its products is starter-kit used to show performance concrete cheep. This article describes a starter-kit for cheep ATtiny 2313 company ATMEL. This cheep is not very complex, but we can use it to learn all process to create electrical drive system for single-phase capacitor motor. Professors and students of department Automation and Control produced this system.

Key words: starter-kit, cheep, drive system, single-phase capacitor motor.

**Бурков В.Д., Орлов А.Е., Шалаев В.С. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕБАЗИРУЕМЫМ КОМПЛЕКСОМ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ.**

Рассмотрены основные задачи системы управления (СУ ПКТИ), вытекающие из условий размещения и применения комплексов. Представлена структурная схема системы управления ПКТИ. Дается обоснование необходимости применения в системе управления элементов системы ГЛОНАСС и применения волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) и платформы Стюарта для реализации мер по преодолению воздействия морской качки на получение телеметрических измерений с помощью ПКТИ.

Ключевые слова: мобильный измерительный пункт, перебазируемый измерительный пункт, глобальная навигационная спутниковая система, системы управления, волоконно-оптический гироскоп, суперлюминесцентный светодиод, космическая навигационная система, навигационные космические аппараты, навигационная аппаратура потребителя.

**Burkov V.D., Orlov A.E., Shalaev V.S. THE CONTROL SYSTEM MOBILE A COMPLEX OF TELEMETERING MEASUREMENTS WITH USE OF SYSTEM GLONASS AND FIBER-OPTICAL GYROSCOPES.**

In the article purpose, structure and features of application mobile complexes of telemetering measurements (MTTS) are considered. The comparative analysis before complexes used and existing in the Russian Federation is lead. Problems of a control system (CS MTTs), accommodations following from conditions and applications of complexes are considered. The block diagram of control system MTTs is presented. The substantiation of necessity of application in a control system of elements of system GLONASS is given. The substantiation of application of fiber-optical gyroscopes (FOG), the brief analysis and a choice of variant FOG and platforms Stuart for realization of measures on overcoming influence of sea rolling on reception of telemetering measurements by means of MTTs is spent.

Key words: mobile measuring point, rebased measuring point, global navigating satellite system, control systems, – fiber-optical gyroscope, superluminescent light-emitting diode, space navigating system, navigating space vehicles, navigating equipment of the consumer.

**Саврухин А.П. ВЕКТОР ПОЙНТИНГА И ПРОВОДИМОСТЬ МЕТАЛЛОВ.**

Поток электрической энергии определяется проводимостью металла. Найдена зависимость проводимости от валентности и атомного номера металла.

Ключевые слова: вектор Пойнтинга, проводимость, поток электрической энергии.

**Savrukhin A.P. VECTOR OF POINTING AND CONDUCTIVITY OF METALS.**

The stream of electric energy is determined by conductivity of metal. Dependence of conductivity on valency and nuclear number of metal is found.

Key words: Poynting vector, conductivity, stream of electric energy.

**Запруднов В.И., Санаев В.Г. МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСНО-ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ.**

Решена задача по определению макроскопических (эффективных) свойств древесно-цементных композитов методом приближенного решения – методом условных моментов, позволяющим также вычислять средние деформации их компонентов, что является основой для прогнозирования прочности древесно-цементных материалов.

Ключевые слова: макроскопические (эффективные) свойства материала, древесно-цементный композит.

**Zaprudnov V.I., Sanaev V.G. MACROSCOPIC PROPERTIES OF WOOD-CEMENT COMPOSITES.**

The task on defining the macroscopic (effective) properties of wood-cement composites is solved by the method of approximate solution, i.e. by the method of conditional moments which allows also calculating the average strains of their components that becomes the basis for forecasting the strength of wood-cement materials.

Key words: macroscopic (effective) properties of material, wood-cement composite.

**Лозовецкий В.В., Шадрин А.А., Лебедев В.В., Статкевич И.В., Маркова Ю.А. ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА И ДРУГИХ РАСТИТЕЛЬНЫХ БИОРЕСУРСОВ.**

Рассмотрена возможность получения электрической и тепловой энергии из растительных отходов различного происхождения. Предложена схема комплексной установки для реализации биогаза – продукта полигонного захоронения твердых производственных и бытовых отходов в качестве возобновляемого источника энергии для тепловых насосов как потребителей для низкопотенциальной теплоты. Подтверждена возможность получения высокого практического эффекта в случае комплексного применения различных видов альтернативных, возобновляемых энергоисточников и вторичных энергетических ресурсов.

Ключевые слова: древесные, растительные и органические отходы, биогаз, полигон, энерготехнологии с использованием отходов, тепловые насосы.

**Lozovetsky V.V., Chadrin A.A., Lebedev V.V., Statkevich I.V., Markova J.A. OBTAINING ELECTRICAL AND HEAT ENERGY FROM WOOD RESIDUES OF FOREST COMPLEX AND OTHER PLANT BIORESOURCES.**

The possibility of obtaining electrical and heat energy from plant residues of different origin is under review. Scheme of complex installation for using biogas (a product of landfill of industry and domestic wastes) as a renewable source of energy for heat pumps which are consumers of biogas lowpotential heat is presented. The possibility of getting high practical effect while applying different kinds of alternative, renewable energy sources and secondary energy resources is proved.

Key words: wood, plant and organic wastes, biogas, landfill, energy technologies using wastes, heat pumps.

### **Ширнин Ю.А., Зверев И.В., Моржанов А.Ю. ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ ДЕРЕВЬЕВ НА ПОРАЖЕННЫХ ПОЖАРОМ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.**

Проведенные исследования пораженных пожаром деревьев позволяют оценить существующие средства и технологические процессы заготовки древесины и очистки пораженных пожаром территорий.

Ключевые слова: пораженные пожаром лесные территории, пространственное расположение деревьев, экспериментальные исследования.

### **Shirnin Yu.A., Zverev I.V., Morzhanov A.Yu. SPATIAL PLACEMENT OF TREES IN THE WOOD TERRITORIES STRUCK WITH THE FIRE.**

The carried-out researches of the trees struck with a fire allow to estimate existing means and technological processes of preparation of wood and cleaning by the struck fire of territories.

Key words: the wood territories struck with a fire, a spatial arrangement of trees, pilot studies.

### **Гиряев М.Д. ПРОБЛЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.**

Россия располагает значительным лесосырьевым потенциалом, который в настоящее время используется неэффективно. В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации арендатор лесных участков определен как стратегический партнер в использовании лесов и ведении лесного хозяйства. В статье дается анализ арендных отношений по заготовке древесины, характеризуются коррупционные составляющие при передаче лесных участков в аренду, рассматриваются экономические аспекты заготовки древесины, анализируются системы организации лесопользования различных периодов развития нашей страны. В статье предложены изменения в Лесной кодекс РФ.

Ключевые слова: лесопользование, заготовка древесины, Лесной кодекс РФ, аукцион, договор аренды лесного участка, инвестиционный проект, арендная плата, лесной доход.

### **Giryayev M.D. PROBLEMS OF FOREST MANAGEMENT ORGANIZATION IN RUSSIAN FEDERATION.**

Russia owns significant forest resources potential, which is used inefficiently now. According to the Forest code of the Russian Federation a forest leaser is defined as a strategic partner in forest use and forest management. The article analyzes the lease for logging, characterizes corrupt elements of the forest plots transmission for rent, economic aspects of timber harvesting, analyzes the organization system of forest use for various periods of our country's development. Changes to the Forest code are proposed in the article.

Key words: forest use, harvesting, Forest Code of Russia, auction, forest lease contract, investment project, rental payment, forest income.

### **Гиряев М.Д. ЛЕСОУСТРОЙСТВО: ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ.**

В статье приводится характеристика развития отечественной классической системы лесоустройства в сравнении с современным его состоянием. Рассматриваются проблемы организации лесопользования в увязке с действующим лесоустройством. Проведен анализ лесного законодательства в вопросах лесоустройства и даются предложения по его совершенствованию.

Ключевые слова: лесоустройство, лесная таксация, организация лесопользования, арендатор, проект освоения лесов, лесохозяйственный регламент, лесное законодательство.

### **Giryayev M.D. FOREST MANAGEMENT: PROBLEMS AND SOLUTIONS.**

The characteristics of developing Russian classical system of forest inventory in comparison with its modern state are given. The article considers the problem of organizing forest management in conjunction with the Federal forest inventory. The analysis of forest legislation in the sphere of forest inventory and suggestions for its improvement are given.

Key words: forest inventory, forest valuation, the organisation of forest use, leaseholder, the forest development project, review of forest management, forest legislation.

### **Беляева Н.В., Грязькин А.В., Ковалев Н.В., Фетисова А.А., Кази И.А. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПОСЛЕ РУБОК УХОДА И КОМПЛЕКСНОГО УХОДА ЗА ЛЕСОМ В СОСНЯКАХ БРУСНИЧНЫХ.**

В статье дается оценка изменений, протекающих в живом напочвенном покрове под воздействием рубок ухода и комплексного ухода за лесом (т.е. разреживаний с одновременным внесением азотных удобрений). Одновременно выявляется роль напочвенной растительности в организации биокруговорота и сохранении почвенных ресурсов. Систематичность наблюдений дает возможность с высокой степенью достоверности судить о закономерностях изменений, протекающих в напочвенном покрове. Эти изменения объективно связаны с изменениями в среде и рассматриваются как закономерная реакция фитоценоза в целом на разреживание и внесение удобрения. Рубки ухода за лесом и особенно удобрения, вносимые в разреженные древостои, ускоряют восстановительные реакции. Ослабляя конкуренцию и повышая актуальное плодородие почв, они создают благоприятные условия для развития не только древостоя, но и всех ярусов растительности. В результате расширяется спектр видового разнообразия и соответственно усложняется структура нижнего яруса растительности. Структурные изменения в

живом напочвенном покрове направлены на усиление почвозащитных и ресурсосберегающих функций и, вместе с тем, они являются естественным следствием ускорения сукцессии.

Ключевые слова: лесной фитоценоз, живой напочвенный покров, структура, сосновые древостои, биоциркуляция, комплексный уход за лесом, рубки ухода за лесом.

**Beliaeva N.V., Gryazkin A.V., Kovalev N.V., Fetisova A.A., Kasi I.A. THE COMPARATIVE ESTIMATION OF NATURAL SOLID COVER AFTER IMPROVEMENT CUTTING AND COMPLEX CARE IN COWBERRY PINE FOREST.**

In the article the valuation of changing in fresh onsoil cover in cowberry stand of pines after cut off and complex care after forest (thinning out and nitric fertilizing) is given. In the same time the role of onsoil vegetation in biocirculation and saving soil resources organization is revealed. Systematic research gives the opportunity of high degree of authenticity to judge about regularities of changing in onsoil cover. This changing objectively links up with changing in the area and is considered as reaction of forest in the whole on thinning out and fertilizing. Cut off and especially fertilizing of thinned out stands speed up reconstruction reactions. Making competition weaker and increasing the actual soil fertility, they make favourable conditions for development of not only stands but of all stories of vegetation. As the result spectrum of species is becoming larger and the structure of low story of vegetation is becoming more difficult. Structural changing in fresh onsoil cover directs on soil and resource saving and in the same time it is natural consequence of reconstruction speed-up.

Key words: forest phytocenosis, natural soil covering, structure, pinner stands, biological cycle, complex care of stands, cut off.

**Бессчетнова Н.Н. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КЛОНОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (PINUS SYLVESTRIS L.) ПО ПАРАМЕТРАМ ХВОИ В ТРЕХФАКТОРНОМ ДИСПЕРСИОННОМ АНАЛИЗЕ.**

Получены оценки наследственной обусловленности различий плюсовых деревьев сосны обыкновенной по линейным параметрам и массе хвои. Дисперсия различного уровня зафиксирована на лесосеменных плантациях, созданных в Нижегородской области. Факторы среды оказали заметное влияние на проявление разнообразия.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плюсовые деревья, клоны, длина и масса хвои.

**Besschetnova N.N. COMPARATIVE AN ESTIMATION OF CLONES OF THE PLUS-TREES OF A SCOTS PINE (PINUS SYLVESTRIS L.) ON PARAMETERS OF NEEDLES IN THE THREE-FACTORIAL DISPERSIVE ANALYSIS**

Estimations of hereditary conditionality of distinctions of the plus-trees of a Scots Pine on linear parameters and weight of needles are received. The dispersion of a various level is fixed on seed plantations of wood plants created in the Nizhniy Novgorod area. Factors of environment rendered appreciable influence on display of a variety.

Key words: a Scots Pine, the plus-trees, clones, length and weight of needles.

**Никишов В.Д., Мерзленко М.Д., Мельник П.Г. ЮБИЛЕЙ СЛАВНОГО УЧЕНОГО (К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ПРОФЕССОРА МИХАИЛА ВЛАДИМИРОВИЧА РУБЦОВА).**

Работа посвящена 75-летию юбилею выпускника МЛТИ 1959 г.; ведущему ученому-лесоводу России, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, члену-корреспонденту РАСХН, Заслуженному лесоводу Российской Федерации, лауреату золотой медали им. Г.Ф. Морозова – Михаилу Владимировичу Рубцову. Основные направления научных исследований ученого охватывают лесоведение, лесоводство, лесные культуры. Являясь преемником и продолжателем лучших традиций лесной науки Советского Союза, М.В. Рубцов работал в лесоустроительных партиях на Дальнем Востоке, проводил устройство горных орехово-плодовых и арчевых лесов Киргизии, организовал длительные экспедиционные и стационарные исследования защитно-водоохраных функций лесов в долинах таежных рек Коми АССР, а также лесов Центральной России. Ученый опубликовал более 150 научных трудов.

Ключевые слова: Михаил Владимирович Рубцов, лесоведение, лесоводство, «Леспроект», «Союзгипролесхоз», Институт лесоведения РАН.

**Nikishov V.D., Merzlenko M.D., Melnik P.G. THE ANNIVERSARY OF THE GLORIOUS SCIENTIST (DEDICATED TO THE 75<sup>th</sup> ANNIVERSARY OF PROFESSOR M.V. RUBTSOV).**

The paper is dedicated to the 75<sup>th</sup> anniversary of professor Mikhail Vladimirovich Rubtsov who graduated from the Moscow Forest Engineering Institute in 1959. Professor Rubtsov is the leading scientist in the field of forestry in Russia and has a doctor degree in agricultural science. He is the associate member of the Russian Academy of Agricultural Science as well as the honoured forester of the Russian Federation and the winner of G.F. Morozov's golden medal. Prof. Rubtsov's research line embraces forestry, silviculture and forest crop studies. As a firm supporter of the Soviet forest science, prof. Rubtsov was s part of valuation crew in the Far East, managed walnut mountain and juniper forests in Kirgizia, carried out long-term field and stationary research of water protection functions of forests in Taiga river-valleys in Komi Autonomous Soviet Socialist Republic and in forests of the central part of Russia. The scientist published more than 150 scientific works.

Key words: Mikhail Vladimirovich Rubtsov, silviculture, forestry, forest crops, «Lesprojekt», «Souzgiplomleskhov», Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences.